

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA EN ALIMENTOS

**Determinación de la Variación de Algunas Propiedades Físicas
en Leche Cruda de las Regiones Octava, Novena y Décima**

Tesis presentada como parte de los
requisitos para optar al grado de
Licenciado de Ingeniería en Alimentos

Isabel Damaris Vargas Mendoza

VALDIVIA – CHILE
2004

Con mucho amor a:

Mis queridos padres

Eduardo, mi esposo

Catalina, mi hijita

PROFESOR PATROCINANTE:

Sr. Erwin Carrasco R.

Ingeniero Civil Químico.

Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad Austral de Chile.

PROFESORES INFORMANTES:

Sr. Manuel Pinto C.

Profesor de Química, M. Sc.

Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad Austral de Chile.

Sr. Bernardo Fraser L.

Médico Veterinario, M. Sc.

Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad Austral de Chile.

AGRADECIMIENTOS:

- Sinceros agradecimientos al profesor patrocinante de esta tesis, Sr. Erwin Carrasco R., por su constante apoyo, grandes consejos e infinita paciencia, durante todo el desarrollo de esta tesis.
- A los profesores informantes, Sr. Manuel Pinto C., y Sr. Bernardo Fraser L., por su colaboración en el desarrollo de esta tesis.
- FONDECYT- Proyecto N° 1961046 de la Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Su financiamiento permitió el desarrollo del presente trabajo.
- A mis padres y hermanas, por entregarme su cariño en todo momento y creer siempre en mí.
- A Eduardo, sin tu compañía, consejos y gran amor no hubiese logrado el término de este trabajo.
- A Catalina, mi hijita, gracias por acompañarme tan cerquita en la etapa final de este trabajo.

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Componentes de la leche	3
2.2	Variabilidad de la leche	6
2.3	La leche como alimento	7
2.4	Propiedades físicas de la leche	7
2.4.1	Densidad de la leche	9
2.4.2	Tensión superficial de la leche	12
2.4.3	Viscosidad de la leche	15
2.4.4	Índice de refracción de la leche	18
2.4.5	Coefficiente de dilatación volumétrica de la leche	21
3	MATERIAL Y MÉTODO	23
3.1	Muestras	23
3.2	Lugar de ensayo	23
3.3	Equipos y materiales	24
3.4	Métodos	24
3.4.1	Determinación de la densidad en leche cruda	24
3.4.2	Determinación de la tensión superficial en leche cruda	25
3.4.3	Determinación de la viscosidad en leche cruda	26
3.4.4	Determinación del índice de refracción en leche cruda	27

3.4.5	Determinación del coeficiente de dilatación volumétrica en leche cruda en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C	27
3.5	Análisis de los datos	28
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
4.1	Valores mensuales y regionales de algunas propiedades físicas analizadas en leches crudas a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones	29
4.1.1	Densidad en leche cruda	29
4.1.2	Tensión superficial en leche cruda	35
4.1.3	Viscosidad en leche cruda	42
4.1.4	Índice de refracción en leche cruda	48
4.1.5	Coeficiente de dilatación volumétrica en leche cruda en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C	54
5	CONCLUSIONES	59
6	RESUMEN	61
	SUMMARY	62
7	BIBLIOGRAFÍA	63
	ANEXOS	71

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Leche de vaca. Composición típica	5
2	Propiedades físicas de la leche	8
3	Tensión superficial de líquidos corrientes en contacto con aire a 20 °C	15
4	Viscosidad de la leche (mPa*s)	16
5	Coefficiente de dilatación de algunos líquidos (grado ⁻¹)	22
6	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para densidad en muestras de leche cruda de la VIII Región (Kg/m ³), (n=71)	29
7	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para densidad en muestras de leche cruda de la IX Región (Kg/m ³), (n=96)	30
8	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para densidad en muestras de leche cruda de la X Región (Kg/m ³), (n=134)	30
9	Valores promedio, desviación estándar, medianas, rangos y coeficientes de variación para densidad en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones	32
10	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para tensión superficial en muestras de leche cruda de la VIII Región (mN/m), (n=71)	36

11	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para tensión superficial en muestras de leche cruda de la IX Región (mN/m), (n=96)	36
12	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para tensión superficial en muestras de leche cruda de la X Región (mN/m), (n=134)	37
13	Valores promedio, desviación estándar, medianas, rangos y coeficientes de variación para tensión superficial en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones	41
14	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para viscosidad en muestras de leche cruda de la VIII Región (mPa*s), (n=71)	42
15	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para viscosidad en muestras de leche cruda de la IX Región (mPa*s), (n=96)	43
16	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para viscosidad en muestras de leche cruda de la X Región (mPa*s), (n=134)	43
17	Valores promedio, desviación estándar, medianas, rangos y coeficientes de variación para viscosidad en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones	47
18	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el índice de refracción en muestras de leche cruda de la VIII Región, (n=71)	48
19	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el índice de refracción en muestras de leche cruda de la IX Región, (n=96)	49

20	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el índice de refracción en muestras de leche cruda de la X Región, (n=134)	49
21	Valores promedio, desviación estándar, medianas, rangos y coeficientes de variación para el índice de refracción en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones	52
22	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C en muestras de leche cruda de la VIII Región (1/°C), (n=71)	54
23	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C en muestras de leche cruda de la IX Región (1/°C), (n=96)	55
24	Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C en muestras de leche cruda de la X Región (1/°C), (n=134)	55
25	Valores promedio, desviación estándar, medianas, rangos y coeficientes de variación para el coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones	58

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Componentes de la leche	4
2	Ajuste de la variación mensual de densidad a 20 °C, en muestras de leche cruda de la VIII, IX y X regiones	33
3	Ajuste de la variación mensual de tensión superficial a 20 °C, en muestras de leche cruda de la VIII, IX y X regiones	39
4	Ajuste de la variación mensual de viscosidad a 20 °C, en muestras de leche cruda de la VIII, IX y X regiones	45
5	Ajuste de la variación mensual del índice de refracción a 20 °C, en muestras de leche cruda de la VIII, IX y X regiones	50
6	Ajuste de la variación mensual del coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C , en muestras de leche cruda de la VIII, IX y X regiones	56

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Resultados propiedades físicas en leche cruda de las regiones VIII, IX y X	72
2	Factores de corrección de los capilares para la determinación de la tensión superficial	79
3	Análisis estadístico, VIII Región	80
4	Análisis estadístico, IX Región	85
5	Análisis estadístico, X Región	90
6	Análisis estadístico, VIII, IX y X regiones	95

1 INTRODUCCIÓN

Desde la década de los 70 ha existido el interés por conocer la variación estacional y regional de los parámetros de composición de la leche recibida en plantas lecheras del país, en tanto sirvan de indicadores de la calidad de la leche. Sin embargo, no se conoce las variaciones de las propiedades físicas de la leche, en las cuales se refleja de algún modo la información composicional y de calidad.

En el presente trabajo se ampliará el estudio de algunas propiedades físicas de la leche cruda en la zona sur, en base a muestras extraídas de los silos de recepción de las plantas procesadoras. Las propiedades consideradas son: densidad, tensión superficial, viscosidad, índice de refracción y coeficiente de dilatación volumétrica, para las que existen métodos sencillos de medición, más rápidos y de menor costo que los químico-analíticos, los cuales podrían ser adaptables a las condiciones del andén de recepción.

Cada propiedad física de la leche experimenta fluctuaciones de acuerdo a la época del año (meses) y región de producción, variando estas de acuerdo a la etapa de lactación, prácticas de alimentación, gestación, raza predominante, clima y estación del año.

Es importante, entonces, investigar las propiedades físicas y sus variaciones a través del tiempo en las zonas productoras de leche, en tanto su conocimiento pudiera proporcionar un acceso mas expedito a las variaciones de la calidad composicional.

Esta investigación se encuentra inserta en el proyecto FONDECYT N°1961046 "Modelación estacional y regional de la leche cruda en las regiones IX y X "

Los objetivos del estudio son:

Objetivo general:

- Contribuir al conocimiento de las propiedades físicas de la leche nacional.

Objetivos específicos:

- Determinar la variación estacional (mensual) y regional de algunas propiedades físicas (densidad, tensión superficial, viscosidad, índice de refracción y coeficiente de dilatación volumétrica) de la leche cruda a nivel de silos de recepción, correspondiente a 16 plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones, durante un período de un año.
- Examinar la aptitud de las mediciones físicas anteriores, realizadas bajo condiciones similares a las de planta, en cuanto a su capacidad para reflejar variaciones en la composición y estructura coloidal de la leche cruda.

2 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

Desde el punto de vista legal, la leche de vaca se define como "el producto íntegro no adulterado ni alterado y sin calostros, procedente del ordeño higiénico, regular, completo e ininterrumpido de vacas sanas y bien alimentadas" (CASADO y GARCÍA, 1985). Definir la leche desde un punto de vista científico resulta más complicado dada la complejidad del producto. No obstante, se puede tomar como adecuada la siguiente definición: "la leche es el líquido segregado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos conteniendo agua, grasa, proteínas, lactosa y minerales" (CASADO y GARCÍA, 1985).

2.1 Componentes de la leche

La leche animal se compone principalmente de agua (80-90%) en la que se encuentran disueltas o en suspensión las proteínas, la lactosa (el azúcar de la leche), los minerales y las vitaminas hidrosolubles, FIGURA 1. La grasa de la leche está en emulsión y se encuentra distribuida en el líquido a manera de glóbulos minúsculos que pueden unirse unos a otros formando una capa de crema cuando la leche fresca se deja en reposo (PORTER, 1981).

El aspecto "lechoso" característico de la leche se debe principalmente a las proteínas y sales de calcio disueltas en ella, el color amarillo de la crema se debe a la presencia de caroteno, un pigmento amarillo anaranjado que se convierte en vitamina A (retinol) en el organismo (PORTER, 1981).

Las proteínas de la leche son la caseína y las contenidas en el suero, principalmente α -lactoalbúmina y β -lactoglobulina. La caseína es una

proteína que contiene fósforo y que se encuentra únicamente en la leche y forma la cuajada cuando se acidifica la leche o se trata con cuajo. Las proteínas del suero permanecen disueltas en el líquido (suero) que escurre de la cuajada (PORTER, 1981).

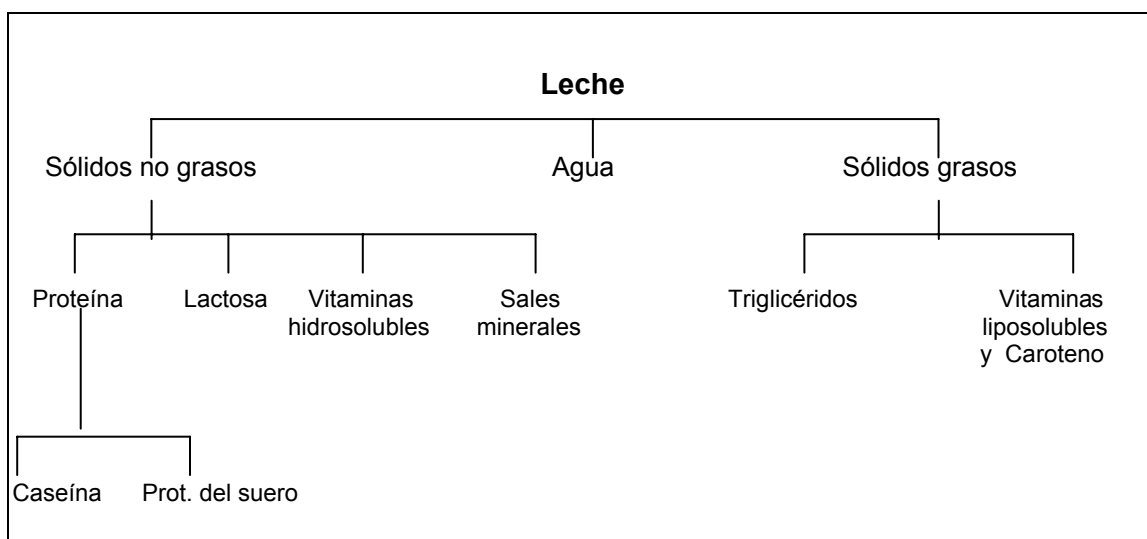


FIGURA 1. Componentes de la leche.
FUENTE: PORTER (1981).

Algunos componentes de la leche están presentes en cantidades sensibles (grasa, lactosa, sustancias nitrogenadas, y sales minerales) y, por lo tanto, pueden determinarse con menor o mayor facilidad. Otros, por el contrario, se encuentran sólo en cantidades vestigiales (enzimas, pigmentos, y vitaminas) y su determinación es más difícil (VEISSEYRE, 1980).

En el CUADRO 1, se presenta la composición media de la leche de vaca en sus principales elementos.

CUADRO 1. Leche de vaca. Composición típica.

Componente	Composición (g/l)	Estado físico de los componentes
Agua	905	Agua libre, (disolvente + agua ligada, 3,7%).
Glúcidos , lactosa	49	Solución.
Lípidos	35	Emulsión de los glóbulos grasos, (3 a 5 micras).
Materia grasa propiamente dicha	34	
Lecitina (fosfolípidos)	0,5	
Parte insaponificable (esteroles, carotenos, tocoferoles)	0,5	
Prótidos	34	Suspensión micelar de fosfocaseinato de calcio, (0,08 a 0,12 micras).
Caseína	27	Solución (coloidal)
Prótidos solubles (globulinas, albúminas)	5,5	
Sustancias nitrogenadas no proteicas.	1,5	
Sales	9	Solución o estado coloidal (P y Ca), (sales de K, Ca, Na, Mg, etc...)
del ácido cítrico (en ácido)	2	
del ácido fosfórico (P ₂ O ₅)	2,6	
del ácido clorhídrico (NaCl)	1,7	
Componentes diversos	Indicios	
Vitaminas, enzimas, gases disueltos		
Extracto seco total	127	
Extracto seco desengrasado	92	

FUENTE: ALAIS (1985).

2.2 Variabilidad de la leche

Desde un punto de vista cualitativo la leche es medianamente constante en composición y propiedades, pero existe una considerable variación cuantitativa.

La composición química, tamaño y estabilidad de elementos estructurales y propiedades físicas pueden diferir entre lotes de leche, lo cual puede ser el resultado de una variación natural o cambios que ocurren en la ordeña.

Dentro de la variación natural pueden considerarse las siguientes causas:

- Genética: entre rebaños de vaca o entre individuos.
- Fisiológicos: particularmente estado de lactancia y también edad de la vaca, estro y gestación.
- Ambientales: particularmente alimentación, factores climáticos y stress.

La variabilidad en composición y propiedades de la leche tiene varias consecuencias para la industria lactológica; esta está particularmente interesada en los cambios estacionales, cuyas tendencias no pueden señalarse de forma general; ello se debe a que el efecto estacional depende del clima y de las costumbres o prácticas alimentarias del ganado, que varían mucho en regiones geográficas distintas y sobre todo porque el sistema de cría seguido puede ser diferente. Si casi todas las vacas paren en un intervalo de pocas semanas, como suele hacerse en unos pocos países, la composición y la cantidad de la leche que llega a las centrales varía mucho con el tiempo. Si por otra parte los partos se distribuyen de forma regular a lo largo de todo el año la composición aproximada de la leche y el rendimiento lácteo total difícilmente varían con la época estacional (WALSTRA y JENNESS, 1987).

Las mayores variaciones de la materia grasa se presentan entre vacas, estado de lactancia y alimentación. Generalmente, la producción de leche es más variable que la composición. Las mezclas de leche de muchas vacas reducen las variaciones, siendo las principales diferencias entre leches

de mezcla la raza predominante y las prácticas de alimentación (CURSO INTERNACIONAL SOBRE TECNOLOGÍA DE LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS, 1990)¹.

Es necesario, así como lo mencionan CASADO y GARCÍA (1982), tener siempre presente que la composición de la leche de un animal o rebaño más o menos numeroso será generalmente consecuencia de varios factores en conjunto y no de uno aislado.

2.3 La leche como alimento

La leche puede considerarse como el alimento más valioso para la nutrición del hombre. Contiene todos los principios nutritivos necesarios para la conservación y el desarrollo de la vida. Es particularmente importante el valor proteico de la leche de vaca, es decir, la participación porcentual del poder energético de las proteínas en el valor calórico total de la leche, superando en un 20% a cualquier otro alimento, excepto la leche de mujer (SPREER, 1975).

2.4 Propiedades físicas de la leche

Cada propiedad físico-química de la leche, está determinada por la contribución de sus constituyentes. Obviamente, entonces, estas propiedades varían con la composición (JENNESS y PATTON, 1976).

Algunas de las propiedades físicas dependen del total de los componentes: densidad, tensión superficial y calor específico. Otros dependen de las sustancias disueltas: índice de refracción y punto de congelación. Otras de iones: pH, conductividad; y el potencial redox depende de los electrones (ALAIS, 1985).

¹ Curso Internacional sobre tecnología de leche y productos lácteos. 1990. Universidad Austral de Chile, Valdivia. s.p.

En la industria lechera, la medición de las propiedades físicas de la leche y productos lácteos son realizadas para asegurar información necesaria, con el fin de poder diseñar equipos lecheros (ej.: conductividad térmica y viscosidad), también para determinar la concentración de un componente o grupo de componentes (agua añadida) o, para apreciar la extensión de un cambio químico o físico (acidez titulable para seguir la acción bacteriana o viscosidad para apreciar agregación de micelas proteicas o glóbulos grasos) (JENNESS *et al.*, 1974).

CUADRO 2. Propiedades físicas de la leche.

Propiedad	(1)	(2)	(3)
Densidad leche completa (Kg/m ³)	1032	-----	1030-1033
pH	6,6-6,8	6,65-6,71	6,6-6,8
Conductividad eléctrica (ohm ⁻¹ m ⁻¹)	45x10 ⁻²	40x10 ⁻² 55x10 ⁻²	40x10 ⁻² 50x10 ⁻²
Viscosidad (mPa*s)	1,6-2,15	2,0	2,2
Indice de refracción	1,35	1,3440-1,3485	-----
Punto de congelación (°H)	-0,55	-0,53 a -0,570	-0,555
Tensión superficial (mN/m)	-----	42,3-52,1	47-53

FUENTE: (1) ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (1981).

(2) Jenness *et al.*, citado por ANIFANTAKIS (1986).

(3) ALAIS (1985).

El CUADRO 2 contiene valores de propiedades físicas, informadas por varios autores.

2.4.1 Densidad de la leche. La densidad, más precisamente, densidad de masa, o masa volumétrica, es la masa de una cierta cantidad de un material dividido por su volumen. Esto es expresado en kgm^{-3} (unidad SI), o gml^{-1} (unidades c.g.s). El símbolo es ρ , y como la densidad depende fielmente de la temperatura, ρ^{20} , significa densidad a 20 °C (WALSTRA y JENNESS, 1987).

PINTO *et al.*, (1980), indican que la densidad de la leche es una propiedad física resultante de la influencia de todos sus componentes a una temperatura dada. WALSTRA y JENNESS (1987), señalan al respecto, que la densidad de una mezcla de componentes, como la leche, puede establecerse sumando todas las densidades de sus componentes, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{\rho} = \sum \left(\frac{m_x}{\rho_x} \right) \quad (2.1)$$

donde,

m_x : masa del componente x ,

ρ_x : densidad aparente de la mezcla,

generalmente ρ_x no es la densidad de la sustancia pura, porque cuando se mezclan dos componentes tiene lugar un cambio de volumen (generalmente una contracción).

Es conveniente expresar la densidad en referencia a alguna sustancia estándar. El agua es comúnmente usada como una sustancia de referencia. Cuando la densidad de alguna sustancia incluye agua, esta varía con la temperatura, es necesario especificar la temperatura cuando se reporta la

densidad o gravedad específica. La densidad de la leche es usualmente informada a 20 °C (JENNESS y PATTON, 1976).

Con respecto a la densidad promedio de la leche, ésta oscila entre 1027 y 1033 Kg/m³ a 20 °C. Puede variar enormemente por las fluctuaciones de los componentes principales de la leche. El agua tiene una densidad de aproximadamente 1000 Kg/m³; la materia grasa aproximadamente 930 Kg/m³ y los sólidos no grasos (S.N.G) de 1620 Kg/m³. La densidad de la leche puede disminuir por adición de agua, materia grasa y también por aumento de temperatura. Por el contrario, puede aumentar con el descremado y al disminuir la temperatura (PINTO y HOUBRAKEN, 1976).

Las leches de densidades inferiores a 1027 Kg/m³ suelen estar aguadas, exceptuando si su riqueza en grasa es muy grande, lo cual se suele reconocer por su aspecto relativamente viscoso y opaco; mientras que las leches aguadas llaman la atención por su excesiva fluidez y transparencia (ROSELL y DOS SANTOS, 1952).

Con respecto a la temperatura, WALSTRA Y JENNESS (1987), señalan que la densidad de la leche disminuye al aumentar la temperatura, debido principalmente a la expansión del agua.

ALAIS (1985), señala que la densidad de la leche no es constante por estar determinada por dos factores opuestos y variables:

- Concentración de los elementos disueltos y en suspensión (sólidos no grasos).

- Proporción de materia grasa: teniendo ésta una densidad inferior a 1000 Kg/m³, la densidad global varía de manera inversa al contenido graso. Como consecuencia, la leche desnatada es más densa que la leche entera. Los valores medidos se encuentran entre 1030 Kg/m³ y 1033 Kg/m³ a la temperatura de 20 °C. Densidad de las leches desnatadas se eleva por encima de 1035 Kg/m³.

Con respecto a esto FLEISCHMANN (1924), señala que la leche rica en grasa, a pesar de su abundancia en componentes de poca densidad, no

tenga un peso específico bajo y que la leche pobre en grasa no posea peso específico más considerable; esto es debido a que la leche rica o pobre en grasa es también por lo general rica o pobre en los componentes sólidos. Por lo común, las oscilaciones del peso específico siguen exactamente las del porcentaje de la leche en extracto seco exento de grasa.

Por su parte, Goded citado por ROSELL y DOS SANTOS (1952), informa que existen varios factores modificadores de la densidad: la aumentan todos los componentes del extracto desgrasado y la disminuye la grasa; la temperatura, con su aumento disminuye la densidad; las distintas partes del ordeño, la primera parte, por ser pobre en grasa, tendrá mayor densidad que la final, más rica en grasa; incorporación de aire, la disminuye.

Quevenne citado por ROSELL y DOS SANTOS (1952) comprobó que en las primeras horas siguientes al ordeño, la leche experimenta una reducción de volumen con el consiguiente aumento de su densidad. Según Toyomaga, igualmente citado por ROSELL y DOS SANTOS (1952), señala que esto depende de la solidificación de los glóbulos de grasa, de ahí la recomendación de no realizar esta medición en leche recién ordeñada.

De acuerdo a lo anteriormente citado, en CURSO INTERNACIONAL SOBRE TECNOLOGÍA DE LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS (1990)¹, se menciona que la leche dejada en reposo después de la ordeña, aumenta su peso específico rápidamente al principio, luego en forma lenta hasta estabilizarse; el rápido aumento ha sido atribuido al escape de gases de la leche. El aumento producido en forma lenta es generalmente atribuido a la lenta solidificación de la grasa, este efecto fue descrito por Recknagel y se conoce como efecto Recknagel. Además de la lenta modificación del estado físico de la materia grasa, existe otra causa, puesto que

¹ Curso Internacional sobre tecnología de leche y productos lácteos. 1990. Universidad Austral de Chile, Valdivia. s.p.

se ha comprobado lo mismo en leche descremada, que se produce por las variaciones en la cantidad de agua ligada a las proteínas.

GODED y MUR (1966), informan algunas variaciones de la densidad debidas a adulteraciones: el aguado la rebaja, el aguado con soluciones preparadas puede dejarla invariable si la densidad es igual a la de la leche. El desnatado la aumenta por rebajar en el peso la grasa extraída y en el volumen un valor mayor (el volumen de la misma grasa). Adición de desnatado, aumenta la densidad, ya que la leche desnatada tiene más elevada densidad.

WALSTRA y JENNESS (1987), informan valores para leche normal entre 1027 a 1033 Kg/m³. GODED y MUR (1966), señalan que la densidad de la leche varía entre 1028 y 1042 Kg/m³, siendo el valor medio 1031 Kg/m³. FAO (1981), indica valores entre 1025 y 1035 Kg/m³, aceptándose como promedio 1032 Kg/m³ a 20 °C.

La densidad puede ser determinada utilizando varios métodos, ya sea, empleando un densímetro, balanza de Mohr - Westphal o un picnómetro.

2.4.2 Tensión superficial de la leche. Todo líquido opone resistencia a cualquier fuerza que tiende a expandir su superficie. En algunos casos es tan grande la resistencia a la expansión que algunos objetos densos no se sumergen en el líquido, sino que flotan en la superficie (LONGO, 1975).

Dentro del cuerpo de un líquido alrededor de una molécula actúan atracciones casi simétricas. En la superficie, sin embargo, dicha molécula se encuentra sólo parcialmente rodeada por otras y, en consecuencia, experimenta una atracción hacia el cuerpo del líquido. Esta atracción tiende a arrastrar las moléculas superficiales hacia el interior, y al hacerlo, el líquido se comporta como si estuviera rodeado por una membrana invisible. Esta conducta se llama tensión superficial, y es el efecto responsable de la resistencia que un líquido presenta a la penetración superficial (MARON y PRUTTON, 1968).

La tensión superficial es definida como el trabajo requerido por extensión de superficie por unidad de área o fuerza requerida por unidad de distancia, y es expresada como J/m^2 o N/m (JENNESS *et al.*, 1974).

ALAIS (1985), indica que la presencia de sustancias orgánicas en la leche explica el descenso de su tensión superficial en relación con la del agua pura. Una propiedad interesante es que la dilución de la leche, hasta unas 10 veces, no modifica sensiblemente la tensión superficial, esta no aumenta bruscamente más que otras grandes diluciones (1/50). Como se sabe, las sustancias tensoactivas forman una película en la superficie de los líquidos, en el caso de la leche estas sustancias se encuentran en una concentración muy superior a la que se necesita para formar la capa "saturada" de superficie.

Este mismo autor además señala, que las proteínas del suero tienen una tensión superficial muy próxima a la de la leche, a pesar de la separación de la caseína; pero el efecto de la dilución es mucho más acusado que en el caso de la leche, pues el contenido en proteasa es bajo. La materia grasa desempeña escaso papel, porque la leche desnatada tiene una tensión superficial mucho más elevada que la leche completa. Es suficiente un 0,2% de materia grasa para que el efecto alcance su máximo.

Según GODED y MUR (1966), la incrementan: la edad de la vaca, si es agitada violentamente la leche; también aumenta al disminuir la temperatura y al aumentar la acidez. Al bajar de 20 a 18 °C crece de 0,1 a 0,2. los calostros tienen una tensión superficial muy débil. Al coagularse sube de 48 a 63 al aparecer el primer coágulo, y cuando la coagulación es completa queda fija en 53. También disminuye con el transporte.

La tensión superficial de la leche es del orden de 50 mN/m a 20 °C, comparada con la del agua de 72,75 mN/m a igual temperatura. La proteína láctea, grasa, fosfolípidos y ácidos grasos libres, son los principales componentes tensoactivos que determinan las propiedades superficiales de la

leche (JENNESS *et al.*, 1974). Las proporciones de ácidos grasos libres en leche y productos lácteos dependen de las variaciones estacionales de la composición de la materia grasa y de la actividad relativa de las enzimas lipolíticas involucradas. Este efecto puede variar según manejo, raza y período de lactancia (Jellema, citado por CARRO, 1998).

GODED y MUR (1966), informan que los valores medios de tensión superficial fluctúan entre 40 a 56 mN/m a 18 °C; en experiencias realizadas sobre gran número de muestras, obtuvieron como valores extremos 46,8-53,7 mN/m y un valor medio de 50,42 mN/m.

Igualmente, ALAIS (1985), menciona valores de tensión superficial, para leche completa a 15 °C de 47 a 53 mN/m, para leche desnatada de 52 a 57 mN/m y para lactosuero de cuajo, de 52 a 55 mN/m.

ATHERTON (1977), informa valores de tensión superficial para leche descremada de 57,4 mN/m y para leche entera de 55,3 mN/m. Asimismo, señala que un incremento en el contenido de grasa y proteína bajan la tensión superficial de la leche. Un incremento de temperatura en la leche baja su tensión superficial marcadamente.

ROSELL y DOS SANTOS (1952), señalan que la tensión superficial de la leche desnatada a 0 °C es aproximadamente de 55 a 60 mN/m, y a 60 °C es de unas 40 a 45 mN/m, es decir, disminuye al aumentar la temperatura. La presencia de grasa disminuye la tensión superficial. La leche pura tiene una tensión superficial un poco menor que la leche desnatada, y la tensión superficial de la nata todavía es menor.

La tensión superficial es una característica de cada líquido y difiere considerablemente de unos líquidos a otros (MARON y PRUTTON, 1968).

Al respecto, STREETER (1971), informa que el valor de tensión superficial que le corresponde al agua varía desde 74,5 mN/m a 20 °C hasta 59,6 mN/m a 100 °C, también informa tensiones superficiales de otros líquidos, los que se presentan en el CUADRO 3.

CUADRO 3. Tensión superficial de líquidos corrientes en contacto con aire a 20 °C.

Líquido	Tensión superficial σ , mN/m
Alcohol etílico	22,8
Benceno	28,4
CCl ₄	27,2
Keroseno	23,8-32,7
Agua	74,3
Mercurio	
en aire	52,3
en agua	40,1
en vacío	49,5
Aceite	
Lubricante	35,7-38,7
Crudo	23,8-38,7

FUENTE: STREETER (1971).

Existen diversos procedimientos para medir la tensión superficial, como el tensiométrico, peso de la gota, y el ascenso capilar, es este último el más importante (MARON y PRUTTON, 1968).

2.4.3 Viscosidad de la leche. La viscosidad es la resultante del frotamiento de las moléculas y se traduce como la resistencia más o menos grande de los líquidos a fluir (ALAIS, 1985). La unidad de medida de la viscosidad es el Pa*s, y se define como la fuerza en N/m² requerido para mantener una velocidad relativa de 1m/s entre dos planos paralelos separados en 1m (JENNESS *et al.*, 1974).

La leche es mucho más viscosa que el agua. La causa de este aumento de la viscosidad se debe sobre todo a la materia grasa en estado globular y a las macromoléculas proteicas, mientras que las sustancias disueltas sólo influyen en pequeña parte. Por lo tanto, el lactosuero es menos viscoso que la leche desnatada, y esta menos que la leche completa (ALAIS, 1985).

ROSELL y DOS SANTOS (1952), señalan con respecto a las proteínas, que influyen sobre la viscosidad no sólo su cantidad, sino también las dimensiones de sus partículas y su grado de hidratación. En cuanto a la grasa, el tamaño de sus partículas y la cuantía de su conglomeración.

ALAIS (1985), informa con respecto a la temperatura, que la viscosidad disminuye con la elevación de ésta; a 20 °C, no es más que la mitad, y a 40 °C, el tercio de la que tiene a 0 °C, (ver CUADRO 4). También señala que otro parámetro importante lo constituye el pH del medio. La viscosidad aumenta cuando el pH desciende por debajo de 6,0. También menciona que esta propiedad es la causante de la resistencia a la subida de los glóbulos de grasa para formar la nata, así como en el valor de esta propiedad, hasta en un 40% al ser homogeneizada la leche.

CUADRO 4. Viscosidad de la leche (mPa*s).

Temperatura (° C)	Leche completa	Leche desnatada	Agua
5	3,2	3,9	1,53
10	2,8	2,5	1,30
20	2,2	1,9	1,006
30	1,65	1,35	0,80
50	-----	0,6	0,55

FUENTE: ALAIS (1985).

ROSELL y DOS SANTOS (1952), señalan con respecto a la temperatura que, a medida que aumenta, la viscosidad de la leche pura disminuye más de prisa que la viscosidad del agua, como consecuencia de reducirse la hidratación de las proteínas (como ocurre también con la leche desnatada) y porque los conglomerados de los glóbulos de grasa se vuelven más lábiles y, por último, se desintegran al elevarse la temperatura. Estos mismos autores señalan otros factores que provocan una variación en la viscosidad: cuando la leche es conservada a 4 °C durante 24 horas, la viscosidad aumenta en un 4%; la contaminación por ciertos microbios la incrementa; el aguado la hace disminuir, el tratamiento térmico a que ha sido sometido la eleva cuanto más largo haya sido éste; de tal modo que, conociendo la viscosidad de la leche cruda y de la tratada, puede conocerse, aproximadamente, la intensidad del tratamiento térmico; depende también del extracto seco, especialmente de la caseína y grasa; y, en menor importancia, albúmina, lactosa y sales; y en invierno es más elevada.

ATHERTON (1977), señala que la viscosidad del agua a 20 °C es pequeña, más que un mPa*s, pero usualmente es considerada como 1 mPa*s. La leche entera con un promedio de 4,32% de grasa tiene un promedio de 1,6314 mPa*s y la leche descremada tiene un promedio de 1,404 mPa*s.

JENNESS *et al.*, (1974), indican otros valores representativos a 20 °C: viscosidad del suero 1,2 mPa*s, leche descremada 1,5 mPa*s, y leche entera 2,0 mPa*s. De estos valores se evidencia que las micelas de caseinatos y los glóbulos grasos son los más importantes contribuyentes a la viscosidad.

GODED y MUR (1966), informan valores de 1,60 y 2,15 mPa*s. Por su parte JENNESS y PATTON (1976), indican que la leche normal tiene un rango de 1,5 a 2,0 mPa*s de viscosidad a 20 °C.

La viscosidad de la leche y de sus productos interesa desde el punto de vista de la ingeniería para los cálculos de bombas, pero también interesa a la industria para la comercialización. El consumidor generalmente

asocia a la viscosidad de la crema con su riqueza en materia grasa, y la viscosidad de la crema está dada fundamentalmente por el grado de agregación de los glóbulos grasos (FAO, 1981).

La viscosidad de un líquido puede determinarse no solamente midiendo el tiempo requerido para escurrir a través de un tubo capilar, sino también midiendo el tiempo requerido por una esfera pesada que cae a través de un líquido; o pueden colocarse dos discos en el líquido y medir la fuerza de tensión producida una por la rotación del otro; o el tiempo requerido por un líquido colocado en una copa, para escurrirse a través de un pequeño orificio ubicado en el fondo (GETMAN y DANIELS, 1955).

2.4.4 Índice de refracción de la leche. El índice de refracción de un medio cualquiera, es la relación de la velocidad de la luz en el vacío a la de dicho medio (MARON y PRUTTON, 1968 y JENNESS *et al.*, 1974).

JENNESS y PATTON (1976), señalan que cuando la luz pasa por un ángulo oblicuo desde un medio más denso como el agua, este es refractado. La magnitud de la inclinación, expresada como el cociente de los senos de los ángulos de incidencia y refracción de la luz, es el índice de refracción. Este es designado por la letra n :

$$n = \text{sen } i / \text{sen } r, \quad (2.2)$$

donde,

i = ángulo de incidencia

r = ángulo de refracción

A su vez, FAO (1981), señala que el índice de refracción mide el cambio de dirección de un rayo de luz al pasar de un medio a otro, por ejemplo, aire y leche.

El índice de refracción de un líquido puro es característica constante de este líquido, bajo condiciones específicas de temperatura y longitud de onda de la luz. Es decir, como lo indican PINTO y HOUBRAKEN (1976), WALSTRA y JENNESS (1987) y SINGH et al., (1997), el índice de refracción es afectado por la temperatura y la longitud de onda usada.

WALSTRA y JENNESS (1987) y SINGH et al., (1997), además señalan que el índice de refracción se mide corrientemente a una $\lambda = 589,3$ nm (línea D del sodio) y a 20 °C, lo que se indica como n_D^{20} .

Según ALAIS (1985), la refracción es una propiedad aditiva, es decir, el aumento del índice de refracción en la leche es la suma de los aumentos debido a cada componente. La contribución de las sales es despreciable, y la materia grasa que se encuentra fuera de la fase continua, no interviene. WALSTRA y JENNESS (1987), informan que los glóbulos grasos, las burbujas de aire y los cristales de lactosa no influyen en el n de los productos lácteos, pero sí lo hacen las micelas de caseínas, incluso las que son comparativamente grandes, posiblemente porque no son homogéneas y no tienen un límite neto.

Igualmente FAO (1981), indica que la refracción de la luz en una solución depende de las especies moleculares presentes y sus concentraciones, siendo la refracción total una suma de las refracciones individuales producidas por los constituyentes de la solución. De modo que el índice de refracción de la leche es el índice de refracción del solvente (agua), más los índices de los solutos. Si la concentración de los solutos cambia, por ejemplo, por aguado, ello se reflejará en el índice de refracción que se acercará al del agua, lo que permitirá detectar el fraude. Con respecto a esto, GODED y MUR (1966), hacen el alcance que pese a que el índice de refracción sirve para descubrir el aguado de la leche, se debe tener en cuenta que si el índice de refracción de la leche es elevado, podrá admitir una cierta cantidad de agua que no se descubrirá con la determinación de este valor, así como tampoco puede descubrir aguado con soluciones preparadas de índice semejante al de la leche.

GODED y MUR (1966), señalan que el índice de refracción disminuye con la edad, enfermedades de la vaca (mastitis), lo aumenta la acidez.

MAIER y LEBER (1968), indican que la refractometría especialmente de líquidos, se utilizaba en el análisis de alimentos con fines de identificación y caracterización (aceites, grasa), para control de pureza (productos químicos) y para la determinación cuantitativa de ciertos componentes. Esto es igualmente señalado por SINGH *et al.*, (1997).

ROSELL y DOS SANTOS (1952), manifiestan que el objetivo de la refractometría láctea comprende el averiguar: su constitución normal; edad, contenido ácido y contenido en agua. El último dato puede servir para comprobar la falsificación más común de este importante alimento, el aguado.

El índice de refracción del agua a 20 °C (n_D^{20}) es 1,3330 y el valor de la leche está en el rango 1,3440 a 1,3485 (Walstra y Jenness, y Sherbon citados por SINGH *et al.*, 1997), GODED y MUR (1966), señalan valores entre 1,3474 y 1,3506, según JENNESS y PATTON (1976), cae generalmente en el rango de $n_D^{20} = 1,3440$ a 1,3480.

La determinación del índice de refracción es difícil de realizar en la leche, debido a su opacidad, pero usando instrumentos como el refractómetro Abbé que utiliza una película muy delgada de muestra, es posible hacer mediciones satisfactorias en productos descremados y leches concentradas azucaradas (FAO, 1981 y JENNESS *et al.*, 1974).

MAIER y LEBER (1968), señalan que para la medida de índices de refracción se hace uso de refractómetros, cuyo fundamento puede ser diverso: reflexión total, desviación del rayo de luz, inclusión y, reflexión o interferencia. Los aparatos más empleados en el análisis de alimentos son los pertenecientes al primer grupo, refractómetro de Abbé, butirorrefractómetro, refractómetro para mantequilla, refractómetro de mano para azúcar, refractómetro de Pulfrich, refractómetro de inmersión.

El refractómetro Abbé da directamente el índice de refracción con cuatro decimales, la cuarta aproximada; requiere poca cantidad de substancia y se puede trabajar a las temperaturas que da el agua caliente (ROSELL y DOS SANTOS, 1952).

2.4.5 Coeficiente de dilatación volumétrica de la leche. Los cuerpos sólidos y los líquidos al calentarse se dilatan, es decir, aumentan de dimensiones con la temperatura. Se comprende esto fácilmente teniendo presente que al hacerse más enérgico el movimiento térmico de las moléculas, disminuye la consistencia interna del cuerpo (WESTPHAL, 1951).

RESNICK y HALLIDAY (1971), señalan que es típico que los líquidos se dilaten al elevarse la temperatura, siendo la dilatación volumétrica aproximadamente 10 veces mayor que la de los sólidos.

FLEISCHMANN (1924), informa específicamente con respecto a leche que, el coeficiente de dilatación de la leche crece con la temperatura y con la proporción de extracto seco, especialmente grasa, y parece ser algo mayor que el del agua. Con porcentajes crecientes de grasa, el volumen de la leche aumenta más rápidamente que la cantidad de aquella.

Sobre la acción de la presión y la temperatura se deduce, que el coeficiente volumétrico de dilatación térmica debe disminuir con la elevación de la presión (que impide, naturalmente, a la dilatación) y crecer con la elevación de la temperatura.

La dilatación térmica de la sustancia se caracteriza, por el coeficiente de dilatación volumétrica:

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\Delta V}{\Delta T} \right) \quad (2.3)$$

es decir, por el cambio relativo del volumen V , durante el cambio de la temperatura T en 1 grado (KIKOIN y KIKOIN, 1971).

CUADRO 5. Coeficientes de dilatación de algunos líquidos (grado⁻¹).

Líquido	α , grado ⁻¹
Alcohol (etílico)	110×10^{-5}
Alcohol (metílico)	122×10^{-5}
Éter (sulfúrico)	163×10^{-5}
Glicerina	53×10^{-5}
Petróleo	83×10^{-5}
Mercurio	$18,17 \times 10^{-5}$
Ácido sulfúrico	57×10^{-5}
Aceite de oliva	$7,2 \times 10^{-4}$
Agua (5 °C)	$1,5 \times 10^{-4}$
Agua (90 °C)	$7,0 \times 10^{-4}$

FUENTE: Adaptado de BALLARD *et al.* (1957) y KIKOIN y KIKOIN (1971)

El CUADRO 5, muestra coeficientes de dilatación cúbica de algunos líquidos, y los valores se relacionan a temperaturas cercanas a 20 °C.

Los aparatos destinados a la medición del coeficiente de dilatación térmica de los cuerpos, se llaman dilatómetros.

3 MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Muestras

Las muestras utilizadas en este estudio fueron proporcionadas por 16 plantas ubicadas en la VIII, IX, y X regiones, con 4, 5 y 7 plantas, respectivamente (las cuales representan un volumen de recepción nacional de alrededor del 85%).

El muestreo fue realizado durante un año, recibándose quincenalmente las muestras de cada una de las plantas, las que fueron tomadas desde los silos de almacenamiento de leche cruda, en conformidad con lo establecido por la Federación Internacional de Lechería (FIL-IDF 50C:1995), “toma de muestras de leche para análisis químico-físico”.

Estas muestras eran tomadas en botellas de 1 litro, las que se encuentran previamente esterilizadas y codificadas, fueron despachadas desde las plantas de origen en cajas termoaisladas (Coleman) y sin preservantes, hasta el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL). La muestra comprendía un volumen total de 6 litros de leche. Cada planta recibió un protocolo para la toma de muestra y manejo de la misma. En el laboratorio, la muestra fue homogeneizada a 45 °C y luego enfriada a 20 °C, antes del inicio de los análisis, en un matraz de capacidad suficiente para el total de la muestra.

3.2 Lugar de ensayo

El trabajo práctico se realizó en el Laboratorio de Procesamiento de Alimentos, perteneciente al Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL) de la Universidad Austral de Chile.

3.3 Equipos y materiales

- Balanza de Mohr - Westphal, Reinmann, modelo 3197
- Viscosímetro Ostwald, Schott Geräte, Typ Nr 50906
- Refractómetro Abbé, Carl Zeiss, Nr 66796
- Dilatómetros SGA JD- 1030
- Pie de metro digital, MITUTOYO, Modelo 500-321
- Baño termoregulado con recirculación, HAAKE B3
- Termómetro 0-100 °C
- Botellas de vidrio ámbar, capacidad 1 litro
- Tubos de ensayo de vidrio
- Tubos capilares de vidrio
- Neveras Coleman, capacidad 6 botellas
- Pipetas aforadas 11 ml y 10,2 ml
- Pipetas graduadas 5 ml
- Vasos precipitados
- Tapones de goma
- Cronómetro, precisión 0,1 segundo
- Agua destilada

3.4 Métodos

Las siguientes son las metodologías utilizadas para determinar cada uno de los parámetros físicos en estudio, mayores antecedentes se encuentran en DOMKE, 1998.

3.4.1 Determinación de la densidad en leche cruda. La determinación de esta propiedad se realizó utilizando la balanza de Mohr - Westphal, siguiendo la metodología recomendada por el fabricante y lo señalado por GODED y MUR, 1966. Previo a la medición se debe realizar la calibración del equipo, con agua destilada a 20 °C. Las mediciones se realizaron a 20 °C y en duplicado.

3.4.2 Determinación de la tensión superficial en leche cruda. Las mediciones de tensión superficial se efectuaron utilizando el método de ascensión en tubos capilares recomendado por DANIELS *et al.*, s.f.

Los capilares fueron obtenidos, cortándolos de una varilla de vidrio común de 1 m. Fue necesario determinar el radio de estos capilares, cuya medición se hizo con mercurio a 20 °C, midiendo el volumen ocupado por este líquido, por diferencia de pesadas. Este procedimiento se encuentra descrito en KELSEY, 1901.

Una vez obtenido el radio promedio de los capilares, fueron identificados, y se procedió a su calibración con agua destilada a 20 °C, con el propósito de obtener los factores de corrección correspondientes a cada capilar (ANEXO 2).

La medición de la muestra de leche cruda se realiza a 20 °C, para obtener dicha temperatura el tubo era colocado en un baño con recirculación. La lectura de la altura de ascensión en el tubo capilar se efectúa utilizando un pie de metro digital, con resolución de 0,01mm.

Para determinar la tensión superficial se utiliza la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{r h g \rho}{2} f_n \quad (2.4)$$

donde,

r : radio promedio de los capilares (0,0007784 m).

h : altura de ascensión del líquido en el capilar, en m.

g : constante de la ley de Newton (9,8 m/s²).

ρ : densidad del líquido a la temperatura de medición de la tensión superficial.

f_n : factor de corrección para cada capilar (1-10).

σ : tensión superficial de la leche cruda entera en mN/m.

El valor registrado en cada una de las determinaciones correspondía al promedio de tres mediciones consecutivas, con diferencias no mayores a 0,03 en las lecturas con el pie de metro digital.

3.4.3 Determinación de la viscosidad en leche cruda. La medición de la viscosidad se realizó utilizando el viscosímetro de Ostwald, de acuerdo a la metodología señalada por DANIELS, *et al.*, s.f y las recomendaciones del fabricante.

La calibración del instrumento se realizó con agua a una temperatura de 20 °C. Se obtuvieron varios tiempos, determinándose un promedio de estos, y según tabla la viscosidad del agua a 20 °C, corresponde a 1,0019 mPa*s.

Una vez calibrado el viscosímetro con agua y a una temperatura de 20 °C, se determina la viscosidad de las muestras de leche utilizando la siguiente fórmula:

$$\eta_{leche} = \frac{\eta_{agua} \rho_{leche}}{t_{agua} \rho_{agua}} t_{leche} \quad (2.5)$$

donde,

η_{agua} : viscosidad absoluta del agua destilada a 20 °C (1,0019 mPa*s).

t_{agua} : tiempo que demora en pasar el agua a través de las dos marcas del viscosímetro (s), correspondiente a la calibración del viscosímetro.

ρ_{agua} : densidad del agua destilada a 20 °C (998,2 Kg/m³).

t_{leche} : tiempo en que demora en pasar la leche a través de las dos marcas del viscosímetro (s).

η_{leche} : viscosidad de la leche a 20 °C, en mPa*s.

ρ_{leche} : densidad de la leche a 20 °C, obtenida en la balanza de Mohr-Westphal.

Para efectuar la medición se utilizan 3 ml de muestra, la que es previamente homogeneizada. La muestra se introduce por la parte ancha del viscosímetro, por donde igualmente se succiona la muestra, midiéndose el tiempo “t” que tarda en bajar a través de las dos marcas del tubo capilar. Para alcanzar la temperatura de medición, 20 °C, el viscosímetro es colocado en un baño con recirculación. Esta medición se efectúa en duplicado.

3.4.4 Determinación del índice de refracción en leche cruda. El índice de refracción se midió utilizando el refractómetro de Abbé, su determinación se efectuó según el método descrito por PINTO *et al.*, (1996).

La leche debe ser calentada a 40 °C y posteriormente enfriada a 20 °C, se debe agitar para homogeneizar la materia grasa. Una vez calibrado el refractómetro, se depositan algunas gotas de leche entre los dos prismas, esperándose algunos minutos para que la leche alcance la temperatura de los prismas. La lectura se efectúa estimándose el cuarto decimal.

El valor registrado corresponde a dos mediciones sucesivas sin diferencias entre ellas.

3.4.5 Determinación del coeficiente de dilatación volumétrica en leche cruda en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C. La determinación se realizó utilizando un dilatómetro de vidrio con capilar graduado en ml, de acuerdo a la metodología recomendada por KIKOIN y KIKOIN (1971).

Se utilizan 11,9 ml de leche cruda, volumen apropiado para evitar la presencia de aire en el bulbo, lo que afectaría la medición.

Para la determinación, se introduce en el bulbo del dilatómetro la muestra, se tapa el bulbo. Para que la muestra de leche alcance la temperatura inicial (T_0), 20 °C, el dilatómetro es introducido en un baño con recirculación a dicha temperatura, al alcanzar la temperatura, se registra el volumen en ml observado en el capilar del dilatómetro, correspondiendo éste al volumen inicial de la medición (V_0). Para que la muestra de leche alcance la temperatura final

(T_f), 40 °C, al baño con recirculación se le aumenta la temperatura a 40 °C, y al alcanzar esta temperatura (T_f), se registra el nuevo volumen (V_f) observado en el capilar del dilatómetro. A estos volúmenes y temperaturas se les calcula sus diferencias, y estos valores son remplazados en la ecuación (2.3). Obteniéndose así el coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C, en 1/°C.

3.5 Análisis de los datos

Para evaluar los efectos de la región y estacionalidad sobre las propiedades físicas, los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó en el programa STATGRAPHICS PLUS versión 5.0, en el que se hicieron análisis de varianza simple si los datos presentaban una distribución normal; en el caso contrario, se utilizó un análisis no paramétrico, prueba de Kruskal-Wallis. Para establecer entre quienes existían diferencias estadísticamente significativas, se realizó la prueba de Tukey y el gráfico de Whisker y Box, según correspondiera.

Además se les calculó los estadígrafos habituales, promedios, error estándar, medianas, desviación estándar, valores máximos y mínimos y coeficientes de variación.

A los datos obtenidos se les aplicó un ajuste armónico de Fourier, consistente en series de funciones trigonométricas de senos y cosenos de distintas frecuencias, que permiten un ajuste oscilatorio. El análisis del espectro de frecuencia de las funciones trigonométricas involucradas hace posible relacionar las variables observadas y algunos ciclos naturales, tales como, ciclos de las estaciones del año con los cambios en luminosidad, temperatura. Referencias a este método se pueden encontrar en LIPKA (1961).

4 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Valores mensuales y regionales de algunas propiedades físicas analizadas en leches crudas a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones

4.1.1 Densidad en leche cruda. En los CUADROS 6, 7, 8 y 9 se presentan los resultados obtenidos de las mediciones de densidad mensuales y regionales, en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras en la VIII, IX y X regiones. Además en los cuadros que corresponda, se encuentran los resultados obtenidos del análisis estadístico entre las regiones y entre los meses en estudio (el detalle de estos análisis en los ANEXOS 3, 4, 5 y 6).

CUADRO 6. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para densidad en muestras de leche cruda de la VIII Región (Kg/m³), (n=71).

Meses	n	Promedio	Desviación Estándar	Medianas
Enero	6	1029,7±0,56	1,37	1029,7
Febrero	4	1028,4±0,71	1,42	1028,1
Marzo	6	1027,9±0,98	2,41	1027,6
Abril	8	1027,9±0,76	2,14	1027,3
Mayo	7	1028,5±0,89	2,37	1029,3
Junio	5	1029,4±0,34	0,77	1029,5
Julio	6	1030,4±0,47	1,14	1030,4
Agosto	5	1030,2±0,22	0,49	1030,3
Septiembre	6	1030,0±0,14	0,34	1030,1
Octubre	6	1029,7±0,72	1,77	1030,2
Noviembre	6	1030,0±0,14	0,34	1030,0
Diciembre	6	1030,4±0,93	2,28	1031,1

CUADRO 7. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para densidad en muestras de leche cruda de la IX Región (Kg/m³), (n=96).

Meses	n	Promedio *	Desviación Estándar	Medianas
Enero	9	1029,6±0,79	2,36	1031,0 ab
Febrero	9	1027,3±0,47	1,41	1026,9 a
Marzo	10	1028,6±0,58	1,83	1029,2 ab
Abril	6	1027,2±0,75	1,83	1027,1 a
Mayo	7	1026,9±0,73	1,93	1026,6 a
Junio	8	1030,5±1,00	2,83	1029,9 ab
Julio	8	1029,9±0,18	0,50	1029,8 ab
Agosto	7	1031,0±0,36	0,96	1031,0 b
Septiembre	10	1030,0±0,14	0,46	1030,0 ab
Octubre	8	1030,0±0,21	0,60	1030,0 ab
Noviembre	9	1030,2±0,16	0,49	1030,4 ab
Diciembre	5	1031,1±0,84	1,89	1031,3 b

* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

CUADRO 8. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para densidad en muestras de leche cruda de la X Región (Kg/m³), (n=134).

Meses	n	Promedio *	Desviación Estándar	Medianas
Enero	12	1030,8±0,50	1,72	1030,8 b
Febrero	11	1028,4±0,62	2,04	1027,7 a
Marzo	10	1027,6±0,64	2,02	1027,9 a
Abril	9	1026,1±0,72	2,17	1025,1 a
Mayo	9	1028,3±0,53	1,60	1028,6 a
Junio	11	1029,0±0,37	1,24	1028,7 a
Julio	13	1029,9±0,34	1,24	1029,6 ab
Agosto	15	1030,1±0,20	0,76	1029,9 ab
Septiembre	11	1030,3±0,21	0,69	1030,4 b
Octubre	11	1030,3±0,15	0,48	1030,3 b
Noviembre	13	1030,8±0,20	0,71	1030,7 b
Diciembre	9	1031,2±0,60	1,80	1031,3 b

* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

El análisis estadístico realizado, revela la existencia de diferencias significativas entre las medianas de los distintos meses en estudio, obteniéndose que tanto la IX, como X regiones presentan diferencia

significativa ($p < 0,05$). Siendo diferentes en la IX Región los meses de febrero, abril y mayo, con los meses de agosto y diciembre. En la X Región febrero, marzo, abril, mayo y junio varían estadísticamente de septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero (ANEXOS 3, 4 y 5).

Posteriormente se realizó un análisis estadístico entre regiones, pudiendo observar que sus medianas no presentan diferencias ($p > 0,05$) a lo largo de todo el estudio (ver ANEXO 6).

Al no existir grandes diferencias entre los valores promedios, tanto mensuales, como regionales, y sus medianas en este parámetro, se discutirá en base a los valores promedios obtenidos en esta investigación y los valores promedios extraídos de literatura.

Investigaciones realizadas por otros autores informan en general valores similares a los valores promedios mensuales obtenidos en este estudio. PINTO *et al.*, (1980), realizó un estudio en predios de la zona central (Área Metropolitana), reportando valores promedios mensuales de densidad, obtenidos de 289 muestras de leche cruda, por un período de seis meses a contar de septiembre de 1978, obteniendo un rango de 1030 a 1031 Kg/m^3 . MARTÍNEZ (1974), realizó un estudio en la provincia de Llanquihue, las muestras fueron tomadas de los estanques de almacenamiento de leche cruda enfriada, obteniendo valores entre 1025 a 1031 Kg/m^3 . BUSTAMANTE (1974), informa valores para la provincia de Valdivia, entre 1029 a 1032 Kg/m^3 . Por su parte BRAGRADO (1974), informa valores para la provincia de Cautín, entre 1029 a 1033 Kg/m^3 . GONZÁLEZ (1982), en un estudio realizado en España, informa valores de 1030 a 1032 Kg/m^3 , para un grupo de veinte vacas en producción, de raza frisona europea en su mayoría, y que estaban todas en su primer o segundo parto, por lo que se trataba de animales jóvenes.

Al hacer un análisis por regiones se puede apreciar en el CUADRO 9 que los valores promedios de densidad, en las muestras de leche a nivel de silos de recepción de plantas lecheras, resultó ser, para la VIII Región de 1029,3 Kg/m^3 , para la IX Región de 1029,4 Kg/m^3 y para la X Región de

1029,5 Kg/m³. Estos valores se encuentran dentro de lo estipulado por la reglamentación vigente, donde se señala que uno de los requisitos de la leche cruda es poseer una densidad de 1028 a 1034 Kg/m³ a 20 °C (CHILE, MINISTERIO DE SALUD, 1997).

CUADRO 9. Valores promedio, desviación estándar, medianas, rangos y coeficientes de variación para densidad en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones.

Región	n	Promedio	Desviación Estándar	Medianas	Rango de variación	Coefficiente variación (%)
VIII	71	1029,3±0,21	1,79	1029,8	1025,0-1032,7	0,174
IX	96	1029,4±0,21	2,02	1029,7	1024,6-1034,2	0,196
X	134	1029,5±0,17	1,95	1030,0	1023,6-1033,9	0,189
Promedio	301	1029,4±0,11	1,93	1029,9	1023,6-1034,2	0,1878

En la FIGURA 2, se aprecia que los valores más bajos de densidad se encuentran a fines de verano y otoño, lo que podría ser atribuido a un incremento de los contenidos porcentuales de materia grasa, debido a que a medida que transcurre el ciclo de lactancia se comprueba un aumento de dicho porcentaje, esto al estar frente a programas de pariciones de primavera, las que se inician al término del invierno y comienzos de primavera. El comportamiento del porcentaje de materia grasa puede ser corroborado en el estudio de PINTO *et. al.*, (1998); igualmente en este estudio, en el mismo período, se observan bajos valores de S.N.G, lo que estaría demostrando que evidentemente los S.N.G influyen directamente en el parámetro de densidad. Estos bajos valores promedios, además pueden ser atribuidos a la baja disponibilidad de alimento de esta época del año, donde los contenidos energéticos como proteicos de la pradera son bajos. Es probable que se deba a una diferencia en la calidad de la alimentación de las vacas, específicamente

calidad botánica y capacidad productiva de las praderas. Tanto en la IX como X Región la base de la producción lechera es la pradera (pradera artificial, mejorada y natural), y en la VIII Región existe un equilibrio entre la utilización de praderas y de cultivos forrajeros (ANRIQUE *et al.*, 1999). Por esto quizá en esta última región existe una menor variabilidad entre sus valores promedios, lo que se constata al observar la curva obtenida por la VIII Región, presentando diferencias menos marcadas en el transcurso de los meses del estudio. Esto se explica, además, debido a que en esta región existe muy poca concentración de pariciones en los predios responsables de la mayor parte de la leche que llega a planta, en el 90% de las explotaciones ocurren durante todo el año (ANRIQUE *et al.*, 1999).

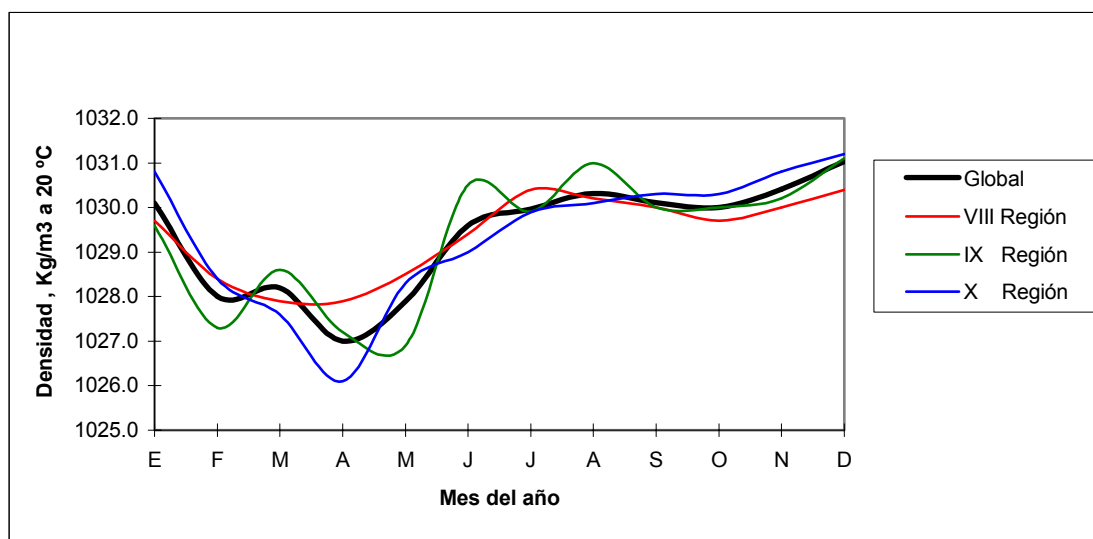


FIGURA 2. Ajuste de la variación mensual de densidad a 20 °C, en muestras de leche cruda de la VIII, IX y X regiones.

JOHNSON (1974), señala con respecto a la baja disponibilidad de alimento, que se produce una reducción en la producción de la leche y un decrecimiento de un 0,3 a 0,5 en el porcentaje de sólidos no grasos, lo que provocaría bajas densidades, puesto que por lo común, las oscilaciones de la densidad siguen las del porcentaje de sólidos no grasos (S.N.G). También en

el CURSO INTERNACIONAL SOBRE TECNOLOGÍA DE LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS (1990)¹, se menciona que hasta el mes de diciembre la vaca no tendría mayores problemas en su alimentación proveniente de la pradera; en los meses de enero y febrero se presenta un déficit del forraje por una caída del crecimiento de la pradera, lo que finalmente influiría en una menor cantidad de alimento disponible para la alimentación de los animales.

En relación a las altas densidades, estas se encuentran en los meses de invierno y primavera (FIGURA 2), comportamiento que es similar en las tres regiones. En este caso se puede considerar que existe una alta concentración de pariciones de primavera. La alimentación suministrada antes del inicio del período de lactancia (en invierno) es de óptima calidad, siendo el objetivo que los animales se encuentren en perfecto estado para iniciar dicho período, asegurándose con ello una producción y calidad de leche deseada. Para lograr esto existen varias técnicas de alimentación, si se persigue obtener altos contenidos de materia grasa: se debe aumentar el consumo de forrajes, incrementar la fibra y decrecer tanto el azúcar, como el almidón en concentrados (ANÓNIMO, 2001a). Cuando se requiere aumentar el porcentaje de proteína: se debe maximizar el consumo de forrajes, alimentar con altos niveles de ensilaje de maíz y además es recomendable una alimentación frecuente (ANÓNIMO, 2001b). Ya en primavera no existe problema en la alimentación, puesto que son utilizadas las praderas, las que son suficientes en cantidad y calidad para suplir los requerimientos de los animales (ANRIQUE *et. al.*, 1999). Por ello, se observan en este período, altos contenidos de proteínas y S.N.G, y a la vez un decrecimiento del contenido de materia grasa, dichos comportamientos pueden ser apreciados en PINTO *et.al.*, (1998). Esto coincide con lo señalado por Laben, citado por STUARDO (1972), quien

¹ Curso internacional sobre tecnología de leche y productos lácteos. 1990. Universidad Austral de Chile, Valdivia. s.p.

demonstró en California (U.S.A) que el mes del año es la principal causa de variación del contenido de sólidos no grasos. Acotan además que hay una subida en el porcentaje de sólidos no grasos cuando los animales pastorean en primavera.

Se puede decir en general que la baja en los valores promedios mensuales de densidad, no es posible precizarla con exactitud, puesto que no debemos dejar de considerar que puede existir una influencia de varios factores, o una combinación de ellos (época de lactancia, distintos tipos de manejo, alimentación).

Además es importante destacar, como lo señala ALAIS (1985), que la densidad de la leche no es constante por estar determinada por dos factores opuestos y variables: concentración de los elementos disueltos y en suspensión (S.N.G) y la proporción de materia grasa, variando la densidad global de una manera inversa al contenido graso.

4.1.2 Tensión superficial en leche cruda. En los CUADROS 10, 11, 12 y 13, se presentan los resultados obtenidos de las mediciones de tensión superficial mensuales y regionales en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones. Además en los cuadros que corresponda, se encuentran los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado entre los meses y entre las regiones en estudio (detalle en los ANEXOS 3, 4, 5 y 6).

CUADRO 10. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para tensión superficial en muestras de leche cruda de la VIII Región (mN/m), (n=71).

Meses	n	Promedio *	Desviación Estándar	Medianas
Enero	6	35,69±1,15	2,81	35,98 a
Febrero	4	35,05±0,87	1,73	35,13 a
Marzo	6	36,96±0,88	2,17	36,82 a
Abril	8	38,44±0,82	2,32	38,79 ab
Mayo	7	40,06±1,56	4,12	41,47 ab
Junio	5	34,70±1,11	2,48	35,92 a
Julio	6	38,10±0,83	2,03	38,28 ab
Agosto	5	41,07±1,08	2,42	40,36 b
Septiembre	6	43,70±0,25	0,61	43,71 b
Octubre	6	42,44±0,55	1,34	42,48 b
Noviembre	6	39,29±0,36	0,88	39,30 ab
Diciembre	6	37,76±0,90	2,20	38,14 ab

* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

CUADRO 11. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para tensión superficial en muestras de leche cruda de la IX Región (mN/m), (n=96).

Meses	n	Promedio *	Desviación Estándar	Medianas
Enero	9	36,81±0,65	1,95	37,11 a
Febrero	9	37,84±0,78	2,33	36,67 a
Marzo	10	37,83±0,61	1,94	38,04 a
Abril	6	38,28±0,42	3,49	39,64 a
Mayo	7	41,95±0,79	2,09	41,98 b
Junio	8	36,28±0,60	1,70	36,44 a
Julio	8	41,08±0,63	1,78	41,19 ab
Agosto	7	41,15±0,67	1,78	41,03 ab
Septiembre	10	43,92±0,23	0,72	43,75 b
Octubre	8	42,02±0,75	2,11	42,02 b
Noviembre	9	38,98±0,39	1,18	38,99 a
Diciembre	5	39,53±0,63	3,65	41,06 ab

* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

CUADRO 12. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para tensión superficial en muestras de leche cruda de la X Región (mN/m), (n=134).

Meses	n	Promedio *	Desviación Estándar	Medianas
Enero	12	38,34±0,43	1,49	37,94 a
Febrero	11	35,77±0,46	1,52	35,34 a
Marzo	10	38,37±0,79	2,51	38,68 a
Abril	9	37,41±1,00	3,00	37,25 a
Mayo	9	42,97±0,56	1,69	42,89 b
Junio	11	37,19±0,52	1,73	36,76 a
Julio	13	40,92±0,50	1,81	40,93 b
Agosto	15	42,63±0,52	2,00	42,88 b
Septiembre	11	42,85±0,53	1,76	42,40 b
Octubre	11	40,40±0,34	1,13	40,43 b
Noviembre	13	40,40±0,62	2,24	40,37 b
Diciembre	9	38,93±0,44	1,32	39,06 ab

* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Al someter los datos a un análisis estadístico, se puede observar, que estos presentan variaciones significativas ($p \leq 0,05$) entre los meses en estudio, entregando este como resultados que en la VIII Región los meses de enero, febrero, marzo y junio son estadísticamente diferentes a los meses de agosto, septiembre y octubre. Para la IX Región enero, febrero, marzo, abril, junio y noviembre presentan diferencias significativas con los meses de mayo, septiembre y octubre. En tanto, en la X Región los meses de enero, febrero, marzo, abril y junio difieren con los meses de mayo, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre (ver detalle ANEXOS 3, 4 y 5). Comportamientos que pueden ser apreciados en la FIGURA 3.

Como no existe gran diferencia entre los valores promedios y las medianas (ver CUADROS 10, 11, 12), se discutirá comparando los valores promedios obtenidos en el presente trabajo con los valores promedios informados por diversos autores.

Los valores promedios de tensión superficial obtenidos en este estudio, son inferiores a los rangos citados en literatura. ALAIS (1985), cita

valores de 47-53 mN/m; ATHERTON (1977), cita un valor de 55,3 mN/m y JENNESS *et al.*, (1974), cita un valor de 50 mN/m.

WHITNAH (1959), recopiló una serie de resultados para este parámetro, citando a diversos autores: Kreidl *et al.*, Berczeller; Kasahara y Ogata, Quagliriello, Behrendi; y Mantovani y Barresi, quienes informan los siguientes valores: 36,2 mN/m, 44,1 mN/m, 47,7 mN/m, 55,2 mN/m, 46,7 mN/m, 48,1 mN/m, respectivamente. Todos resultados superiores a los valores promedios obtenidos en este estudio, a excepción del primer estudio.

Igualmente JENNESS *et al.*, (1974), cita a varios autores: Sharma, usando el método del anillo a 20 °C, reporta valores de 42,3 a 52,1 mN/m, Calandron y Grillet informan valores de 47,5 a 48,0 mN/m, Mohr y Brockmann un valor de 46,7 mN/m para leche entera y Parkash encontró un promedio de $46,02 \pm 1,14$ mN/m, todos valores igualmente superiores a los obtenidos en este estudio.

Las diferencias observadas entre los estudios anteriormente mencionados y los valores obtenidos en esta investigación, pueden tener su causa en distintos factores, ya sea, debido a que probablemente las condiciones de este estudio y los citados no son comparables debido a que se encuentra en presencia de animales con distintos sistemas de manejo, alimentación y diferentes fases de lactación. Además la metodología empleada en la obtención de los resultados, puede también ser distinta, así como los análisis pueden haber sido efectuados a nivel individual o de rebaños y no a nivel de silos como en este estudio. Es necesario mencionar que el análisis de estas leches era realizado por lo menos con 24 horas de diferencia desde la toma de muestra, realizándose el transporte en muchas ocasiones sobre 7 °C, lo que provocaría una alta lipólisis en estas leches, por ello en sí no representarían valores promedios de tensión superficial de la zona en estudio, pero sí con ellos podemos explicar variaciones en el transcurso de los meses del estudio.

Hay que destacar que no existen estudios anteriores de este parámetro en la zona de la presente investigación.

Con el propósito de poder explicar los resultados obtenidos en esta investigación, se mencionará un estudio realizado por CHAZAL y CHILLIARD (1985), quienes estudiaron 6000 muestras de leches de rebaños lecheros franceses. Investigaron el efecto de la lactancia, factores estacionales, de ordeña, alimentación y raza sobre el contenido de ácidos grasos libres, resultando que el contenido de ácidos grasos libres fue generalmente más alto en verano que en invierno. Dichos contenidos también tendieron a ser altos al término de la lactancia. En relación al efecto raza, se concluyó que no existe diferencia significativa entre las diferentes razas, por lo tanto este no sería un factor influyente sobre el contenido de ácidos grasos libres.

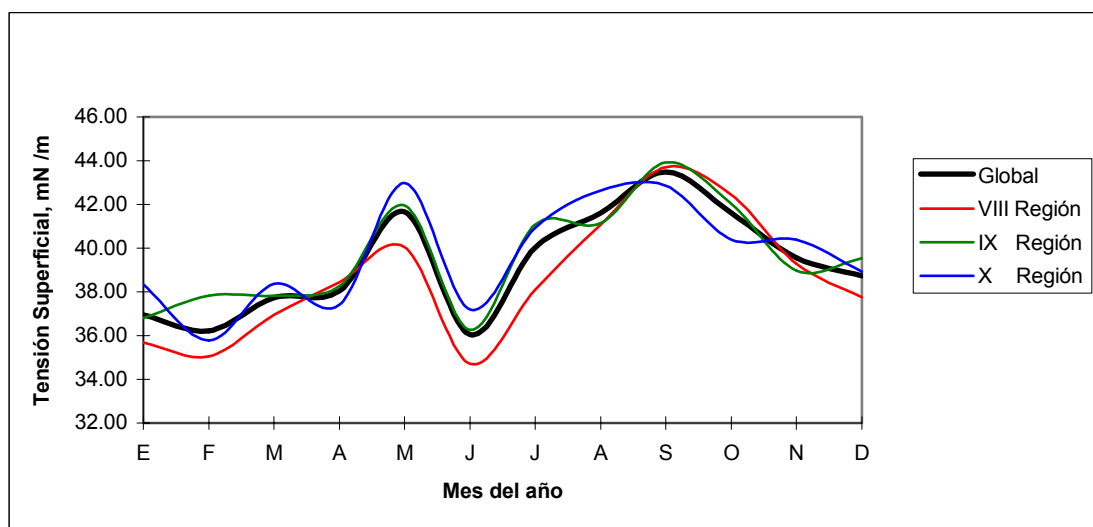


FIGURA 3. Ajuste de la variación mensual de tensión superficial a 20 °C, en muestras de leche cruda de la VIII, IX y X regiones.

RENNER y SHAHIN (1978), igualmente estudiaron el efecto del estado de lactancia sobre el contenido de ácidos grasos libres en leche, obteniendo valores altamente significativos al final del período de lactancia.

De acuerdo a los antecedentes entregados y a lo publicado por JENNESS *et al.*, (1974), quienes señalan a los ácidos grasos libres como uno de los principales depresores de la tensión superficial, con todo esto se podrían explicar las variaciones mensuales en relación a la influencia del ciclo de lactancia, donde al inicio existe una baja presencia de ácidos grasos libres, por lo tanto los valores de tensión superficial serían mayores. Esto puede ser apreciado en la FIGURA 3, donde se observan altos valores de tensión superficial en los meses de agosto y septiembre, meses que corresponden a inicios de pariciones de primavera. La tendencia seguida a medida que transcurren los meses muestra que los valores decrecen, lo que es de esperar puesto que a lo largo del ciclo de lactancia existe un incremento del contenido de ácidos grasos libres.

Con respecto a los valores mínimos observados en los meses de febrero y junio, estos pueden ser atribuidos a términos de ciclos de lactancia tanto de otoño como de primavera, existiendo en estos períodos un alto contenido de ácidos grasos libres.

En relación a los contenidos estacionales de ácidos grasos libres, mencionados en el estudio de CHAZAL y CHILLIARD (1985), se observa en esta investigación que existe una relación estacional, obteniendo valores bajos de tensión superficial cuando en la misma temporada del año (verano) existen valores altos de ácidos grasos libres. En invierno no es apreciado claramente el efecto de los ácidos grasos libres. La tendencia estacional de ácidos grasos libres, fue obtenida anteriormente por VARESMAA (1970), donde los contenidos se presentaron en orden decreciente durante los meses de febrero, julio y noviembre.

De acuerdo a lo discutido, sería conveniente y necesario hacer un estudio del contenido de ácidos grasos libres en leche cruda en las regiones del presente estudio, para poder observar tanto variaciones estacionales como

variaciones en el transcurso del ciclo de lactancia, de esta manera corroborar estos resultados.

El CUADRO 13, presenta los valores promedios regionales, correspondiendo a 38,74; 39,62; 39,79 mN/m, para la VIII, IX y X regiones respectivamente, siendo estos similares entre sí y a la vez con el promedio general (39,49 mN/m).

Al realizar un análisis por regiones para determinar si existen diferencias estadísticas, este arrojó que no existen diferencias estadísticas entre las regiones en estudio (ANEXO 6).

CUADRO 13. Valores promedio, desviación estándar, medianas, rangos y coeficientes de variación para tensión superficial en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones.

Región	n	Promedio	Desviación Estándar	Medianas	Rango de variación	Coefficiente variación (%)
VIII	71	38,74±0,40	3,40	38,64	31,98-44,73	8,78
IX	96	39,62±0,31	3,07	39,58	33,23-45,07	7,74
X	134	39,79±0,25	2,92	39,79	32,52-45,38	7,35
Promedio	301	39,49±0,18	3,10	39,56	31,98-45,38	7,87

Si observamos el CUADRO 13 podemos corroborar los bajos valores promedios obtenidos en este parámetro en cada una de las tres regiones en estudio (al comparar con lo informado en literatura), no siendo posible explicar con exactitud que factores están influyendo directamente en este parámetro, y como no existen valores a nivel de rebaños ni de silos de almacenamiento de plantas lecheras, en ninguna de estas tres regiones, entonces aún es más complicado explicar estas diferencias a lo largo de los doce meses del estudio.

4.1.3 Viscosidad en leche cruda. En los CUADROS 14, 15, 16, 17, se presentan los resultados obtenidos de las mediciones de viscosidad mensuales y regionales en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones. Se presentan además en los cuadros que corresponda, los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado entre los meses y entre las regiones en estudio (el detalle se presenta en ANEXOS 3, 4, 5 y 6).

CUADRO 14. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para viscosidad en muestras de leche cruda de la VIII Región (mPa*s), (n=71).

Meses	n	Promedio *	Desviación Estándar	Medianas
Enero	6	1,7465±0,0249 a	0,0610	1,7140
Febrero	4	1,7158±0,0030 ab	0,0061	1,7133
Marzo	6	1,7855±0,0547 ab	0,1342	1,8170
Abril	8	1,8468±0,0177 abc	0,0502	1,8475
Mayo	7	1,8690±0,0180 abc	0,0680	1,8663
Junio	5	1,8307±0,0518 abc	0,0477	1,8550
Julio	6	1,7957±0,0330 abc	0,1159	1,7942
Agosto	5	1,7503±0,0110 abc	0,0807	1,7560
Septiembre	6	1,7704±0,0149 abc	0,0366	1,7647
Octubre	6	1,7413±0,0101 bc	0,0247	1,7417
Noviembre	6	1,7792±0,0181 bc	0,0443	1,7860
Diciembre	6	1,6904±0,0255 c	0,0625	1,7180

* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

CUADRO 15. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para viscosidad en muestras de leche cruda de la IX Región (mPa*s),(n=96)

Meses	n	Promedio *	Desviación Estándar	Medianas
Enero	9	1,7245±0,0090	0,0270	1,7240 a
Febrero	9	1,7625±0,0246	0,0737	1,7355 ab
Marzo	10	1,8612±0,0262	0,0829	1,8682 b
Abril	6	1,8550±0,0185	0,0452	1,8607 b
Mayo	7	1,8723±0,0055	0,0146	1,8755 b
Junio	8	1,7829±0,0330	0,0934	1,7495 ab
Julio	8	1,7585±0,0163	0,0460	1,7667 ab
Agosto	7	1,7544±0,0108	0,0285	1,7445 ab
Septiembre	10	1,7192±0,0058	0,0182	1,7186 a
Octubre	8	1,8132±0,0207	0,0584	1,8137 ab
Noviembre	9	1,7823±0,0191	0,0573	1,7819 ab
Diciembre	5	1,8514±0,0329	0,0735	1,8484 b

* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

CUADRO 16. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para viscosidad en muestras de leche cruda de la X Región (mPa*s),(n=134).

Meses	n	Promedio *	Desviación Estándar	Medianas
Enero	12	1,7904±0,0160	0,0555	1,7885 ab
Febrero	11	1,8057±0,0187	0,0619	1,8008 ab
Marzo	10	1,8771±0,0211	0,0669	1,8949 b
Abril	9	1,8465±0,0222	0,0667	1,8469 b
Mayo	9	1,9072±0,0212	0,0634	1,9121 ab
Junio	11	1,8546±0,0232	0,0770	1,8660 b
Julio	13	1,7154±0,0272	0,0982	1,6908 a
Agosto	15	1,7842±0,0183	0,0712	1,7963 ab
Septiembre	11	1,7711±0,0117	0,0387	1,7789 ab
Octubre	11	1,7833±0,0073	0,0243	1,7906 ab
Noviembre	13	1,7797±0,0162	0,0584	1,7778 ab
Diciembre	9	1,7634±0,0315	0,0944	1,7940 ab

* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Del análisis estadístico realizado a los datos obtenidos del parámetro de viscosidad, se observa que este presentó diferencias significativas a lo largo de los doce meses del estudio, tanto en la VIII, IX, y X

regiones (ANEXOS 3, 4 y 5), obteniéndose que en la VIII Región el mes de enero es estadísticamente diferente al mes de diciembre. En la IX Región los meses de enero y septiembre presentan diferencias estadísticas con los meses de marzo, abril, mayo y diciembre. En tanto en la X Región el mes de julio es estadísticamente diferente de los meses de marzo, abril y junio.

Al no existir grandes diferencias entre los valores promedios y las medianas en este parámetro, se discutirá comparando los valores promedios de este estudio y los de literatura.

Valores promedios similares a los informados en literatura se obtuvieron en esta investigación, JENNESS y PATTON (1976), señalan que se han realizado extensos estudios que han indicado que la viscosidad de la leche normal tiene un rango de 1,5 a 2,0 mPa*s a 20 °C. GODED y MUR (1966), informa valores de 1,60 y 2,15 mPa*s y JENNESS *et al.*, (1974) indican los siguientes valores representativos a 20 °C: viscosidad del suero 1,2 mPa*s; leche descremada 1,5 mPa*s y leche entera 2,0 mPa*s, evidenciando estos valores que las micelas de caseína y los glóbulos grasos son los más importantes contribuyentes a la viscosidad.

Si se observa la FIGURA 4, se puede apreciar que los valores promedios máximos obtenidos para la viscosidad en las tres regiones en estudio corresponden al mes de mayo, tanto en la VIII, como en la IX y X regiones, con 1,8690; 1,8723 y 1,9072 mPa*s; respectivamente.

Además, se observa en la FIGURA 4, que la IX Región es la que presenta la variación mensual más estrecha. Quedando esto confirmado al presentar esta región un menor coeficiente de variación en relación a las demás regiones (ver CUADRO 17).

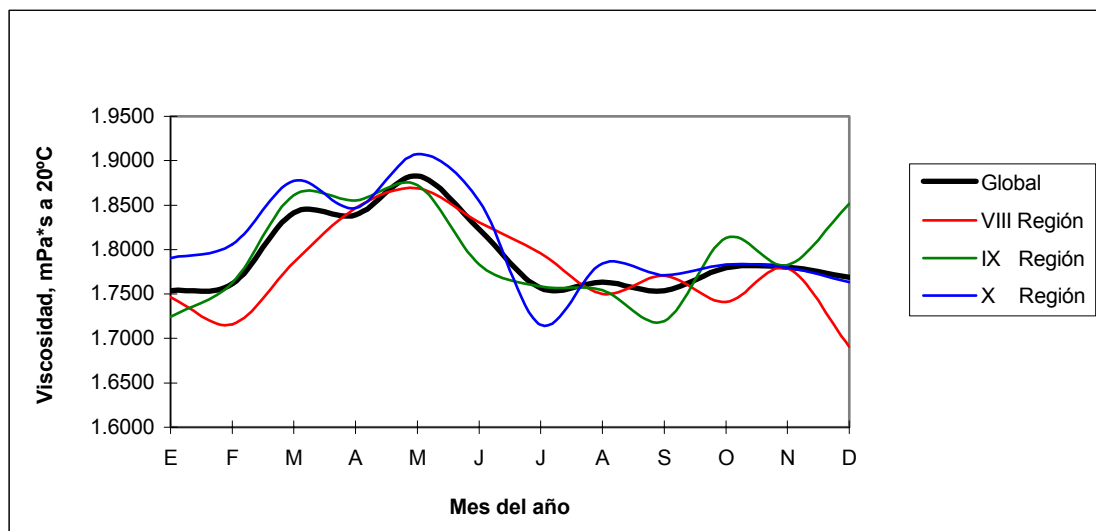


FIGURA 4. Ajuste de la variación mensual de viscosidad a 20 °C, en muestras de leche cruda de la VIII, IX y X regiones.

Es importante mencionar, así como lo señala ROSELL y DOS SANTOS (1952) con respecto a las proteínas y a la grasa, que no sólo influyen la cantidad sino también las dimensiones de sus partículas. Al respecto ALAIS (1985) indica que el diámetro medio de los glóbulos de grasa tiende a disminuir a medida que avanza el ciclo de lactancia. Esto fue igualmente observado por PATIL y VYAS (1977), quienes estudiaron el tamaño de los glóbulos de grasa en leches de vaca Jersey, quienes informan que con avanzada lactancia el porcentaje de materia grasa incrementa, pero el promedio del tamaño del glóbulo graso decrece. Al observar la FIGURA 4, y si se habla de una concentración de pariciones de primavera en las tres regiones en estudio, esta tendencia podría verse reflejada en los meses de marzo, abril, mayo y junio los cuales presentan altos valores de viscosidad. Dado lo anteriormente discutido sería recomendable a futuro realizar un estudio a través del tiempo, donde se determine la relación entre las variables mencionadas, en iguales regiones del presente estudio. HOLT y MUIR (1978), realizaron una investigación, con muestras obtenidas a nivel de silos, donde se determinó las variaciones

naturales en el tamaño promedio de las micelas de caseína de bovinos, por un período de 16 meses en muestras de silos de 5 industrias lecheras en el sur oeste de Escocia, obteniendo una pronunciada tendencia estacional del tamaño de las micelas de caseína, con tamaños promedios más pequeños en verano comparado con el período de invierno. Estos resultados también fueron observados en un estudio anterior en vacas individuales (HOLT y BAIR (1978)). Las variaciones del tamaño de las micelas de caseína pueden ser atribuidas a un origen genético, alimentación, o factores climáticos, entre otros. Al comparar estos resultados con las tendencias obtenidas de viscosidad en los períodos verano e invierno, se observa en general valores bajos en verano y valores promedios levemente más altos en invierno, lo que estaría relacionando tamaño de las micelas con viscosidad. Al no existir en Chile un estudio estacional del tamaño de las micelas de caseína, sería conveniente realizar dicho estudio para confirmar estas tendencias.

BAKSHI y SMITH (1984), en un estudio realizado en la Universidad de Minnesota, determinó la viscosidad en muestras comerciales de: leche descremada, leche con un 1% de grasa, con 2% de grasa, 15% de grasa, leche entera y crema batida, en un rango de temperatura de 0 °C a 30 °C, obteniéndose una viscosidad para leche entera a 10 °C de 2,5 mPa*s, decreciendo a 1,75 mPa*s a 20 °C. Con respecto a la temperatura de 30 °C observaron que la viscosidad de leche descremada, 1% materia grasa, 2% materia grasa y leche entera es casi la misma, igual a 1,25 mPa*s. Sin embargo, el efecto del porcentaje de grasa sobre la viscosidad es mucho más grande a bajas temperaturas.

También es importante mencionar lo señalado por Sommer citado por BAKSHI y SMITH (1984), quien indica que leches homogeneizadas tienen una más alta viscosidad que leches no homogeneizadas, esto es atribuido al estado fino y disperso de la grasa. Igualmente, REUTER y RANDHAHN (1978), obtienen como conclusión que la reducción del tamaño del glóbulo por homogeneización resulta en un incremento de viscosidad, esto obtenido de una

investigación donde se estudió la relación entre el tamaño del glóbulo graso y viscosidad en leche cruda.

CUADRO 17. Valores promedio, desviación estándar, medianas, rangos y coeficientes de variación para viscosidad en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones.

Región	n	Promedio	Desviación Estándar	Medianas	Rango de variación	Coefficiente variación (%)
VIII	71	1,7814±0,0096	0,008	1,7733	1,5900-1,9770	4,54
IX	96	1,7899±0,0077	0,007	1,7744	1,6440-1,9748	4,20
X	134	1,8020±0,0071	0,082	1,7966	1,5902-1,9776	4,57
Promedio	301	1,7933±0,0046	0,080	1,7848	1,5900-1,9776	4,46

RUTZ y WHITNAH (1957), establecieron correlaciones entre grasa, proteínas, sólidos totales y sólidos no grasos de leche cruda, con viscosidad. Los resultados indican que el contenido graso fue altamente significativo más que cualquier otro factor ($r= 0,779$). El coeficiente de correlación que relaciona contenido de proteína de la leche y viscosidad fue $r=0,448$. La importancia del contenido graso sobre la viscosidad fue reflejada por una alta correlación entre sólidos totales y viscosidad ($r= 0,718$). En relación a esto en el estudio de PINTO *et al.*, (1998), se encuentran los menores porcentajes de materia grasa, en la época de mayor producción de leche (primavera-verano), período en el que en general se observan bajos valores promedios de viscosidad, en las tres regiones en estudio.

En los departamentos de Ciencia de los Alimentos en la Universidad del Cairo y en el High Agriculture Institute de Mansoura, se obtienen valores promedios de viscosidad en leche cruda de muestras individuales de 2,12 mPa*s, y a su vez para leches de mezclas se obtuvo una

viscosidad de 2,05 mPa*s (FAHMY *et al.*, 1974), valores similares a los obtenidos en este estudio.

Al realizar un análisis estadístico entre las regiones en estudio, para establecer si existen diferencias significativas entre dichas regiones, se obtuvo como resultado que no existe diferencia entre ellas (ANEXO 6).

En el CUADRO 17, se presentan los valores promedios regionales. La VIII Región presenta la viscosidad más baja, mientras que la X Región presenta el mayor valor promedio, región en la cual se observa igualmente el valor porcentual más alto de materia grasa, en el estudio realizado por PINTO *et al.*, (1998).

4.1.4 Índice de refracción en leche cruda. En los CUADROS 18, 19, 20 y 21, se presentan los resultados obtenidos de las mediciones del índice de refracción mensuales y regionales en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones. Se presentan además en los cuadros que correspondan, los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado entre los meses y entre las regiones en estudio (ANEXOS 3, 4, 5 y 6).

CUADRO 18. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el índice de refracción en muestras de leche cruda de la VIII Región, (n=71).

Meses	n	Promedio *	Desviación Estándar	Medianas
Enero	6	1,3473±0,0001	0,0003	1,3473 ab
Febrero	4	1,3470±0,0005	0,0001	1,3471 a
Marzo	6	1,3470±0,0001	0,0003	1,3469 a
Abril	8	1,3477±0,0001	0,0003	1,3477 b
Mayo	7	1,3476±0,0001	0,0004	1,3478 ab
Junio	5	1,3478±0,0002	0,0005	1,3479 b
Julio	6	1,3475±0,0002	0,0004	1,3475 ab
Agosto	5	1,3474±0,0002	0,0004	1,3472 ab
Septiembre	6	1,3474±0,0001	0,0002	1,3474 ab
Octubre	6	1,3474±0,0001	0,0003	1,3474 ab
Noviembre	6	1,3476±0,0001	0,0004	1,3475 ab
Diciembre	6	1,3472±0,0003	0,0007	1,3472 ab

* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

CUADRO 19. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el índice de refracción en muestras de leche cruda de la IX Región, (n=96).

Meses	n	Promedio	Desviación Estándar	Medianas
Enero	9	1,3473±0,0002	0,0005	1,3473
Febrero	9	1,3472±0,0001	0,0004	1,3472
Marzo	10	1,3471±0,0001	0,0004	1,3472
Abril	6	1,3474±0,0002	0,0004	1,3473
Mayo	7	1,3472±0,0001	0,0002	1,3471
Junio	8	1,3473±0,0003	0,0009	1,3475
Julio	8	1,3474±0,0001	0,0004	1,3474
Agosto	7	1,3475±0,0001	0,0003	1,3475
Septiembre	10	1,3473±0,0001	0,0002	1,3473
Octubre	8	1,3473±0,0001	0,0003	1,3473
Noviembre	9	1,3474±0,0001	0,0003	1,3474
Diciembre	5	1,3471±0,0003	0,0006	1,3472

CUADRO 20. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el índice de refracción en muestras de leche cruda de la X Región, (n=134).

Meses	n	Promedio	Desviación Estándar	Medianas
Enero	12	1,3474±0,0001	0,0004	1,3475
Febrero	11	1,3472±0,0001	0,0005	1,3471
Marzo	10	1,3475±0,0001	0,0002	1,3475
Abril	9	1,3476±0,0001	0,0003	1,3477
Mayo	9	1,3474±0,0001	0,0003	1,3473
Junio	11	1,3475±0,0002	0,0005	1,3475
Julio	13	1,3475±0,0001	0,0005	1,3475
Agosto	15	1,3475±0,0001	0,0003	1,3475
Septiembre	11	1,3476±0,0001	0,0003	1,3476
Octubre	11	1,3474±0,0001	0,0002	1,3474
Noviembre	13	1,3474±0,0001	0,0002	1,3474
Diciembre	9	1,3474±0,0002	0,0005	1,3472

Se determinó que existen diferencias significativas entre las distintas regiones en estudio ($p \leq 0,05$), estableciéndose que la IX Región difiere estadísticamente de la X Región, con valores promedio de 1,3473 y 1,3474, respectivamente (ANEXO 6).

De las tres regiones en estudio, se pudo establecer que solamente la VIII Región presenta diferencia significativa entre los meses del estudio, obteniéndose que los meses de febrero y marzo son estadísticamente diferentes a los meses de abril y junio (ver ANEXOS 3, 4, 5).

Como no se observan grandes diferencias entre los valores promedios y las medianas, se discutirá en base a los valores promedios obtenidos, siendo estos últimos comparados con valores promedios encontrados en diversas publicaciones.

Los valores promedios obtenidos en esta investigación para el índice de refracción se encuentran dentro de los rangos informados por diversos autores de la literatura, FAO (1981), JENNESS y PATTON (1976), informan valores de 1,3440 a 1,3485 y 1,3440 a 13480, respectivamente, sin embargo se obtienen rangos más estrechos, lo que se debe a que estas muestras fueron tomadas a nivel de silos de recepción, por lo tanto son esperables dichos resultados.

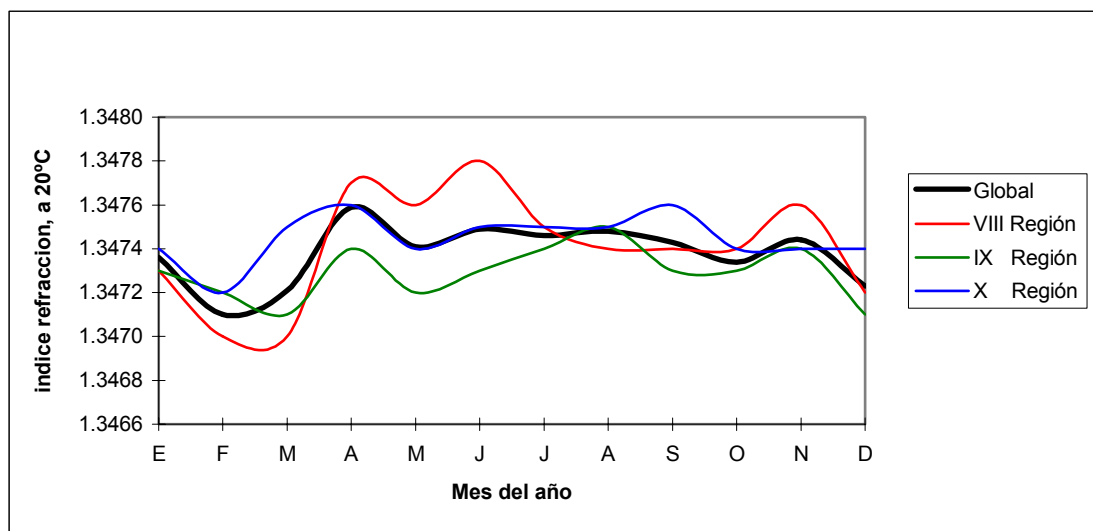


FIGURA 5. Ajuste de la variación mensual del índice de refracción a 20 °C, en muestras de leche cruda de la VIII, IX y X regiones.

Si se observa la FIGURA 5, donde se presentan las tendencias obtenidas por los valores promedios mensuales del índice de refracción para cada una de las regiones en estudio, se puede comprobar que los valores de la VIII Región presentan varios peaks. Esto puede ser atribuido a las distintas épocas de lactancia en que se encuentran las vacas, debido a que en esta región existe una superposición de lactancias, es decir, no hay una marcada época de pariciones. ANRIQUE *et al.*, (1999), señala que en la VIII Región existe muy poca concentración de pariciones en los predios responsables de la mayor parte de la leche que llega a planta, en los cuales el 90% de las explotaciones ocurre durante todo el año; en un 5% son bi-estacionales, es decir, concentradas en primavera y en otoño, y sólo el 3% concentra sus pariciones en primavera.

En la IX, como X regiones, se puede apreciar que existen pariciones de otoño y primavera, correspondiendo las de otoño al mes de abril y las de primavera a los meses de agosto y septiembre para la IX y X regiones respectivamente (lo que es observado en la FIGURA 5). En relación a la X Región, ANRIQUE *et al.*, (1999), señala que más del 50% de las explotaciones en esta región tienen concentradas sus pariciones en primavera y otoño, siguiendo en importancia las pariciones programadas durante todo el año.

Respecto a lo anteriormente mencionado y siendo la lactosa uno de los componentes que más contribuye en los resultados del índice de refracción, Bartlett y Bailey citados por AGUILA (1973), señalan que la lactosa es alta a comienzo de la lactancia y baja paulatinamente a medida que avanza esta. También se debe mencionar lo publicado por el CURSO INTERNACIONAL DE PRODUCCIÓN LECHERA (1978)¹ donde se indica que durante el período de lactancia el extracto seco magro (S.N.G) abunda en las

¹ Curso internacional de producción lechera. 1978. Universidad de la República Montevideo. V.1. s.p.

primeras fases, decae luego rápidamente y alcanza un mínimo durante el segundo y tercer mes, aumentando hacia el final de la lactación. Todo esto podría explicar en parte los resultados obtenidos en cada una de las regiones en estudio.

Es importante también mencionar, para entender las tendencias obtenidas por el índice de refracción, lo señalado por SINGH, *et al.* (1997), las medidas de índice de refracción pueden ser usadas satisfactoriamente para estimar el contenido de sólidos no grasos (S.N.G) en la leche y leches concentradas. Generalmente hay una relación lineal entre contenidos de sólidos (basados sobre peso por unidad de volumen) e índice de refracción. Esto podría explicar por qué se observa una leve baja en los valores obtenidos del índice de refracción en los meses de verano, puesto que similar situación se presenta en los contenidos de S.N.G en leche cruda procedente de silos de almacenamiento en un estudio paralelo realizado por PINTO *et al.*, (1998), donde el contenido de estos valores resultaron de igual manera ser más bajos en los meses de verano. En relación a esto REAVES y PEGRAM (1965), informan que el contenido medio de S.N.G es menor durante los meses de verano y mayor durante el invierno.

CUADRO 21. Valores promedio, desviación estándar, medianas, rangos y coeficientes de variación para el índice de refracción en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones.

Región	n	Promedio *	Desviación Estándar	Medianas	Rango de variación	Coefficiente variación (%)
VIII	71	1,3474±0,00005ab	0,0004	1,3473	1,3462-1,3485	0,03164
IX	96	1,3473±0,00004a	0,0004	1,3472	1,3462-1,3485	0,03199
X	134	1,3474±0,00003 b	0,0004	1,3475	1,3462-1,3482	0,02656
Promedio	301	1,3474±0,00002	0,0004	1,3473	1,3462-1,3485	0,02991

* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

En relación a la baja variación que se presenta entre los valores promedios mensuales del índice de refracción en cada una de las regiones, esto podría ser explicado, debido a que como se dijo anteriormente, la lactosa es uno de los componentes que más contribuye en este parámetro. ALAIS (1985) señala que la lactosa es el componente más constante de proporción, es decir, el contenido de lactosa varía poco, informando valores entre 48 y 50 g/l; lo que también es señalado por JENNESS y PATTON (1976); informando valores entre 4,7 a 4,9%. Por lo tanto y como además esta investigación se realizó con leches provenientes de silos de almacenamiento, situación que reduce aún más los rangos de variación (menor variabilidad), pues, las leches con características diferentes aportadas por distintos proveedores resulta promediada en el proceso de mezcla en el silo. Entonces, es de esperar que se obtengan valores con tan poca variabilidad, acercándose a los valores promedios. Esta situación no debería observarse al realizar un estudio a nivel de vacas individuales o a nivel de rebaños, donde el efecto mezcla es nulo o muy disminuido, en el caso de rebaños.

El comportamiento comentado puede ser apreciado más claramente en el CUADRO 21, donde se presentan los valores promedios regionales; quedando en claro la baja variabilidad de este parámetro, pues los promedios son prácticamente iguales. Si se observan sus coeficientes de variación estos resultan muy pequeños, lo que estaría indicando, en definitiva la poca variación del índice de refracción, tanto estacional, como regional.

DOZET *et al.*, (1978), estudiaron la calidad de la leche en cuatro regiones de producción en Bosnia y Herzegovina, desde 1974 a 1976. Las muestras fueron recolectadas de animales individuales, para determinar el efecto geográfico, climático y factores regionales, sobre las propiedades físico-químicas de la leche. Obtienen que el índice de refracción, que se encuentra dentro de un rango de 1,3422 a 1,3433, no varía considerablemente entre las regiones, por lo tanto, este estudio reflejaría que el parámetro no

entrega información referente a variaciones regionales, información que coincide con esta investigación.

Igualmente en un estudio realizado en Egipto por GAZZAR y ELHAMI (1978), donde se determina el índice de refracción en leche de vaca, se obtiene como resultado que no existe diferencia significativa en este parámetro en dichas leches.

4.1.5 Coeficiente de dilatación volumétrica en leche cruda en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C. En los CUADROS 22, 23, 24 y 25, se presentan los resultados obtenidos de las mediciones del coeficiente de dilatación volumétrica, en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones. Se presentan además en los cuadros que corresponda, los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado entre los meses y entre las regiones en estudio (ver detalle análisis ANEXOS 3, 4, 5 y 6).

CUADRO 22. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C en muestras de leche cruda de la VIII Región (1/°C), (n=71).

Meses	n	Promedio	Desviación Estándar	Medianas
Enero	6	0,00431±0,00018	0,00044	0,00435
Febrero	4	0,00424±0,00027	0,00055	0,00414
Marzo	6	0,00482±0,00031	0,00077	0,00486
Abril	8	0,00437±0,00022	0,00062	0,00438
Mayo	7	0,00482±0,00027	0,00071	0,00475
Junio	5	0,00563±0,00005	0,00012	0,00567
Julio	6	0,00453±0,00033	0,00083	0,00450
Agosto	5	0,00492±0,00019	0,00043	0,00475
Septiembre	6	0,00433±0,00019	0,00045	0,00415
Octubre	6	0,00455±0,00019	0,00047	0,00450
Noviembre	6	0,00441±0,00018	0,00045	0,00424
Diciembre	6	0,00430±0,00021	0,00050	0,00434

CUADRO 23. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C en muestras de leche cruda de la IX Región (1/°C), (n=96).

Meses	n	Promedio *	Desviación Estándar	Medianas
Enero	9	0,00389±0,00013	0,00040	0,00413 a
Febrero	9	0,00446±0,00019	0,00056	0,00434 ab
Marzo	10	0,00537±0,00022	0,00069	0,00548 b
Abril	6	0,00447±0,00029	0,00071	0,00457 ab
Mayo	7	0,00506±0,00042	0,00112	0,00492 ab
Junio	8	0,00530±0,00023	0,00065	0,00520 b
Julio	8	0,00461±0,00008	0,00022	0,00466 ab
Agosto	7	0,00453±0,00013	0,00034	0,00444 ab
Septiembre	10	0,00431±0,00011	0,00034	0,00425 ab
Octubre	8	0,00459±0,00035	0,00098	0,00468 ab
Noviembre	9	0,00505±0,00031	0,00092	0,00496 ab
Diciembre	5	0,00366±0,00038	0,00086	0,00351 a

* Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

CUADRO 24. Valores promedio, desviación estándar, medianas mensuales para el coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C en muestras de leche cruda de la X Región (1/°C), (n=134).

Meses	n	Promedio	Desviación Estándar	Medianas
Enero	12	0,00470±0,00023	0,00078	0,00444
Febrero	11	0,00483±0,00022	0,00073	0,00496
Marzo	10	0,00494±0,00020	0,00063	0,00507
Abril	9	0,00457±0,00029	0,00087	0,00413
Mayo	9	0,00530±0,00038	0,00114	0,00556
Junio	11	0,00476±0,00021	0,00070	0,00465
Julio	13	0,00481±0,00013	0,00048	0,00465
Agosto	15	0,00490±0,00015	0,00060	0,00500
Septiembre	11	0,00452±0,00025	0,00083	0,00425
Octubre	11	0,00490±0,00033	0,00109	0,00475
Noviembre	13	0,00449±0,00019	0,00070	0,00475
Diciembre	9	0,00399±0,00027	0,00080	0,00413

Al observar la FIGURA 6, se aprecia que tanto la VIII, IX, como X regiones se presentan muy variables a medida que transcurren los meses de

estudio. Esto es confirmado al observar los altos coeficientes de variación obtenidos. Los valores promedios máximos se encuentran en los meses de junio, marzo y mayo para la VIII, IX y X regiones, con valores de $5,63 \times 10^{-3}$; $5,37 \times 10^{-3}$ y $5,30 \times 10^{-3}$ $1/^\circ\text{C}$, respectivamente. Los valores mínimos se manifiestan en el mes de febrero para la VIII Región, con un valor de $4,24 \times 10^{-3}$ y en el mes de diciembre, tanto para la IX como para la X Región con valores de $3,66 \times 10^{-3}$ y $3,99 \times 10^{-3}$, respectivamente.

Sólo la IX Región presenta diferencias significativas entre los distintos meses del estudio, obteniéndose que los meses de diciembre y enero difieren estadísticamente de marzo y junio (ANEXOS 3, 4 y 5).

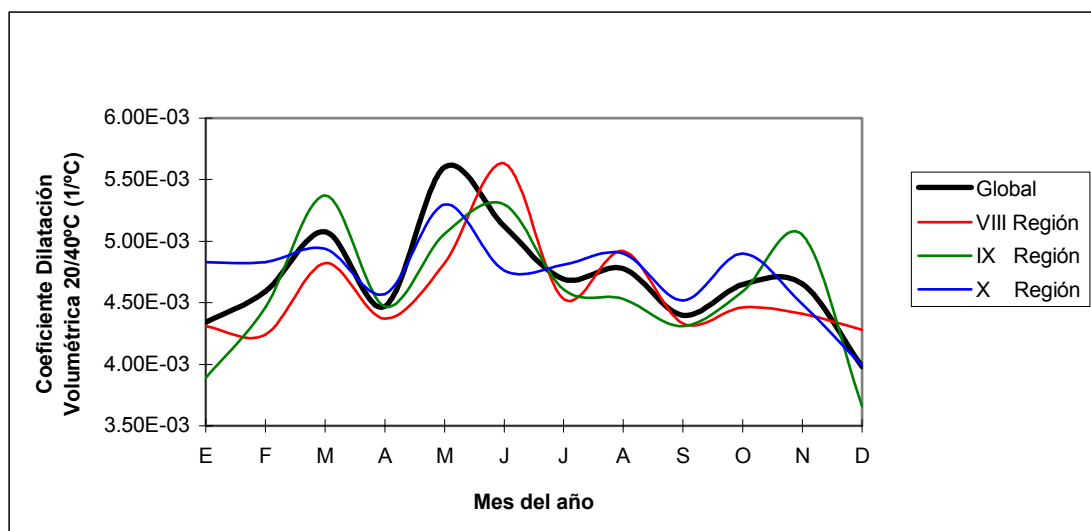


FIGURA 6. Ajuste de la variación mensual del coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C, en muestras de leche cruda de la VIII, IX y X regiones.

Se podría pensar que el coeficiente de dilatación volumétrica en este rango de temperatura (20 °C a 40 °C), está altamente influenciado por el contenido porcentual de materia grasa, puesto que existe una tendencia similar en ambos parámetros. Los contenidos de materia grasa, pueden ser encontrados en PINTO *et al.*, (1998). Esto puede ser respaldado por lo que

señala FLEISCHMANN (1924), quien informa que el coeficiente de dilatación de la leche crece con la temperatura y con la proporción de extracto seco, especialmente grasa, y parece ser algo mayor que el del agua. Con porcentajes de grasa, el volumen de la leche aumenta más rápidamente que la cantidad de aquella (agua).

En el estudio realizado por PINTO *et al.*, (1998), se obtienen los menores porcentajes de materia grasa en la época de mayor producción de leche, primavera-verano; tendencias muy parecidas son observadas en la determinación del coeficiente de dilatación térmica, lo que estaría demostrando la influencia de este componente.

Se debe mencionar que este estudio es la primera aproximación en la investigación de este parámetro en esta zona (VIII, IX y X regiones), sólo se cuenta con un estudio realizado en España por FERNÁNDEZ-MARTÍN (1975), donde por dilatometría determinó medidas de expansión térmica en un rango de temperatura de 0 °C a 80 °C, en distintos tipos de leche y varios niveles de concentración. Las expansiones de fusión llegaron a ser más grandes a medida que aumentaba la temperatura y los contenidos de grasa incrementaban.

Como no existen grandes diferencias entre los valores promedios y las medianas, en este estudio, se comparará dichos valores promedios con los de FERNÁNDEZ-MARTÍN (1975), obteniendo este en leches enteras y a la temperatura correspondiente a 40 °C, una expansión térmica de $4,31 \cdot 10^{-4}$ 1/°C, siendo el valor promedio en este estudio de $4,67 \cdot 10^{-3}$, por lo tanto mayor al de FERNÁNDEZ-MARTÍN (1975).

También se dispone de valores de coeficientes de dilatación volumétrica de otros líquidos, por ejemplo agua (15 °C), la que posee un coeficiente de dilatación volumétrica de $1,5 \cdot 10^{-4}$ 1/°C (KIKOIN y KIKOIN, 1971), valor que es inferior a los valores obtenidos en muestras de leche cruda de esta investigación; en general los valores obtenidos son superiores a los coeficientes de dilatación de otras sustancias citadas en literatura, (ver CUADRO 5).

Según cita KIKOIN y KIKOIN (1971), el coeficiente de dilatación volumétrica, de líquidos distintos a la leche, crece con la elevación de la temperatura, esta tendencia es igualmente observada en leche en los resultados presentados por FERNÁNDEZ-MARTÍN (1975).

En el CUADRO 25, se indican los valores promedios obtenidos para cada una de las regiones pertenecientes a este estudio. La VIII Región presenta el promedio más bajo, mientras que la X Región el promedio más alto, en general los tres promedios regionales son muy similares al promedio general de este estudio, para este parámetro.

CUADRO 25. Valores promedio, desviación estándar, medianas, rangos y coeficientes de variación para el coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C en muestras de leche cruda a nivel de silos de plantas lecheras de la VIII, IX y X regiones.

Región	n	Promedio	Desviación Estándar	Medianas	Rango de variación	Coefficiente variación (%)
VIII	71	0,00459±0,00008	0,0006	0,00465	0,00351-0,00589	13,89
IX	96	0,00464±0,00008	0,0008	0,00455	0,00269-0,00723	17,49
X	134	0,00473±0,00007	0,0008	0,00475	0,00269-0,00702	16,92
Promedio	301	0,00467±0,00004	0,0007	0,00465	0,00269-0,00723	16,47

Al realizar un análisis estadístico entre las regiones en estudio para determinar si existe diferencia entre ellas, este arrojó como resultado que tanto la VIII, IX y X regiones no difieren estadísticamente entre sí (ANEXO 6).

Es necesario destacar lo importante que sería perfeccionar el método utilizado en esta investigación, puesto que es un procedimiento bastante rápido. De esta manera tener nuevos resultados, teniendo como base los valores de coeficiente de dilatación volumétrica obtenidos en este estudio.

5 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que:

Las propiedades físicas estudiadas no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre regiones, a excepción del índice de refracción. Sin embargo, se constata que sí las hay según el mes del año, lo que indica existencia de efectos estacionales.

Los valores encontrados para densidad muestran el comportamiento de materia grasa y sólidos no grasos, fuertemente afectados por el inicio y el término de los ciclos de lactancia.

De las mediciones de tensión superficial se puede concluir, que los valores absolutos obtenidos en este estudio no son representativos, debido a que no se controló los ácidos grasos libres cuyo contenido varió a causa de la lipólisis de las muestras durante el transporte, por lo que sería conveniente repetir su determinación, en condiciones más controladas.

En relación al comportamiento de la viscosidad en leches crudas, se puede decir que, además de cambios composicionales, particularmente de proteínas y materia grasa, pudiera haber efectos importantes atribuibles al cambio en la distribución del número y del tamaño de sus partículas, los que varían a lo largo del ciclo de lactancia, y estación del año.

El índice de refracción no entrega mayor información, ya sea estacional, como regional, con respecto a variación de composición de leche cruda; esto podría deberse a que este estudio se realiza a nivel de silos de recepción de plantas lecheras, situación que reduce los rangos de variación, por lo que se concluye que éste parámetro no se justifica medirlo en muestras de

silos, lo que no le resta significación para muestras de leches individuales o de rebaños, en las que exhibiría mayor variabilidad.

Las tendencias obtenidas para el coeficiente de dilatación volumétrica no son fáciles de interpretar, puesto que presenta gran variabilidad a través de los meses del estudio; a pesar de ello, estos valores sugieren la existencia de una relación con el contenido de materia grasa, siguiendo comportamientos similares a medida que avanza el ciclo de lactancia.

De lo observado en el estudio, se desprende que la superposición del ciclo de lactancia sobre el efecto estacional es determinante en el comportamiento estacional de las propiedades físicas estudiadas (densidad, tensión superficial, viscosidad, índice de refracción y coeficiente de dilatación volumétrica), las variaciones estacionales reflejarían fuertemente el efecto de los cambios en la alimentación del ganado durante el año.

Este trabajo de examen de las propiedades físicas efectuado en este estudio, constituye una primera aproximación al conocimiento de sus variaciones en el tiempo, pero con variabilidad restringida a causa del efecto promediación involucrado en el muestreo desde silos de recepción. Por ello, se considera conveniente que el estudio de las propiedades sea afinado con mediciones tomadas de muestras recibidas en el andén. Así mismo, sería conveniente practicar las determinaciones en el sitio de recepción, lo que además permitiría eliminar los efectos de transporte, el que es particularmente significativo en los valores de tensión superficial.

6 RESUMEN

Se determinaron las variaciones de algunas propiedades físicas de leche cruda (densidad, tensión superficial, viscosidad, índice de refracción y coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C), provenientes de silos de recepción de 16 plantas lecheras de las regiones VIII, IX y X. Las muestras se recepcionaban quincenalmente y por un período de un año. Los análisis fueron realizados en el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL), de la Universidad Austral de Chile.

Las variaciones regionales fueron significativas solamente para el índice de refracción, siendo la IX Región diferente respecto a la Xa. La ausencia de diferencias en los restantes parámetros, pudiera deberse a que en los silos de recepción se han mezclado leches de muchos productores, por lo que los valores determinados representan una promediación con reducción de la variabilidad entre las muestras.

El efecto estacional (meses del año), mostró diferencias significativas en los parámetros tensión superficial y viscosidad en las regiones VIII, IX y X. Además en la VIII Región se observaron diferencias en índice de refracción y coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C. En la IX Región se presentan diferencias significativas en los parámetros de densidad y coeficiente de dilatación volumétrica en un rango de temperatura de 20 °C a 40 °C. Y en la X Región se presentaron diferencias estadísticas entre los meses en el parámetro de densidad.

De las propiedades físicas estudiadas, se observa que estas reflejan información en relación a variaciones de composición en leche cruda en el transcurso de los meses del año, asemejándose condiciones de planta.

Tanto el ciclo de lactancia, variaciones estacionales, como la alimentación son determinantes en los valores obtenidos de las propiedades físicas investigadas.

SUMMARY

Variations of some raw milk physical properties were determined (density, surface tension, viscosity, refraction index and volumetric dilatation coefficient, within a temperature range of 20° C to 40° C), proceeding from reception silos of 16 dairy plants from regions VIII, IX, and X. Samples were received fortnightly for a year term. The analysis were realized at the Food Science and Technology Institute (ICYTAL) of the Austral University of Chile.

Regional variations were significant only for the refraction index, being Region IX different from Region X. The lack of differences among the rest of the parameters could be due to mixture of milks proceeding from many different producers in the reception silos, so values determined herein represent an average with a reduction in variability among samples.

The seasonal effect (months of the year) showed significant differences in parameters such as surface tension and viscosity in regions VIII, IX, and X. Moreover differences in refraction index and volumetric dilatation coefficient within a temperature range of 20° C to 40°C were observed in Region VIII. Significant differences in density and volumetric dilatation coefficient within a temperature range of 20° C to 40° C were present in Region IX. And statistical differences among months in density parameter occurred in Region X.

The physical properties under study reflex information in relation to variations in raw milk composition through the months of the year, resembling plant conditions.

Lactation cycle, seasonal variations as well as feeding are determinants in values obtained from the investigated physical properties.

7 BIBLIOGRAFIA

- AGUILA, A. 1973. Composición de la leche y sus variaciones estacionales en la provincia de Cautín. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 54p.
- ALAIS, CH. 1985. Ciencia de la leche. Editorial Reverté, Barcelona, España. 873p.
- ANIFANTAKIS, E. 1986. Comparison of the physico - chemical properties of ewe's milk and cow's milk. Bulletin FIL-IDF, 202. 201p.
- ANÓNIMO. 2001a. Strategies to modify milk fat. Dairy:243. Available at: <http://www.agriknowledge.co.uk/Livestock/liveindex.htm>. Accessed 16/10/03
- ANÓNIMO. 2001b. Strategies to modify milk protein. Dairy:244. Available at: <http://www.agriknowledge.co.uk/Livestock/liveindex.htm>. Accessed 16/10/03
- ANRIQUE, R.; LATRILLE, L.; BALOCCHI, O.; ALOMAR, D.; MOREIRA, V.; SMITH, R.; PINOCHET, D y VARGAS, G. 1999. Competitividad de la producción lechera nacional. Universidad Austral de Chile. 216p.
- ATHERTON, H. 1977. Chemistry and testing of dairy products. The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Conneticut. 396p.

- BAKSHI, A y SMITH, D. 1984. Effect of fat content and temperature on viscosity in relation to pumping requirements of fluid milk products. *Journal of Dairy Science*. 67: 1157-1160.
- BALLARD, S.; SLACK, E y HAUSMANN, E. 1957. Principios de física. Editorial Reverté, Barcelona. 779p.
- BRAGRADO, C. 1974. Composición de la leche y sus variaciones en la provincia de Cautín. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 26p.
- BUSTAMANTE, J. 1974. Composición de la leche y sus variaciones en la provincia de Valdivia. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 35p.
- CARRO, S. 1998. Composición de ácidos grasos y triglicéridos de leche cruda recepcionada en plantas lecheras (VIII, IX y X regiones) entre mayo y noviembre de 1998. Tesis Lic. Ingeniería en Alimentos. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 160p.
- CASADO, P. y GARCÍA, J. 1982. Composición química de la leche. *Industrias Lácteas Españolas*. 40:56-60.
- CASADO, P y GARCÍA, J. 1985. La calidad de la leche y los factores que la influyen. *Industrias Lácteas Españolas*. 81:1-300.
- CHAZAL, M y CHILLIARD, Y. 1985. The effect of animal factors on milk lipolysis. *Technique-Laitiere-&-Marketing*. 1002: 18-22. FSTA 1969-1989. AN: 87-07-P0047.

- CHILE, MINISTERIO DE SALUD. 1997. Reglamento Sanitario de los Alimentos. Diario Oficial de la República. N° 35.764, 13 de mayo de 1997.
- DANIELS, F.; MATHEWS, J y WILLIAMS, J. s.f. Prácticas de Química-Física. Editorial Manuel Marín. Barcelona, España. 555p.
- DOMKE, R. 1998. Contribución al estudio de las propiedades físico – químicas de leche cruda entera de las plantas lecheras de las regiones VIII a X. Tesis Lic. Ingeniería en Alimentos. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 128p.
- DOZET, N.; STANISIC, M y BIJELJAC, S. 1978. Studies on quality of milk in various regions of production. En International Dairy Congress, 20, Paris. Published by Congrilait, Paris. 1122p.
- FAHMY, A.; SHAARA, H y SHAZLY, A. 1974. Some factors affecting physical and chemical properties of Egyptian cows' and buffaloes' milk. *Milchwissenschaft*. 29 (10):599-601.
- FERNÁNDEZ-MARTÍN, F. 1975. Influence of temperature and composition on some physical properties of milk and milk concentrates. *Z. Lebensm. Unters-Forsch*. 157:14-18.
- FLEISCHMANN, W. 1924. Tratado de lechería. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona. 740p.
- GAZAR, H y ELHAMI, M. 1978. Comparative study on the refractive index of whole milk, skim milk. *Agricultural Research Review*. 56(7):129-133. FSTA 1969-1989. AN: 82-12-P1821.

- GETMANN, F y DANIELS, F. 1955. Tratado Moderno de Física-Química. Editorial Continental. México. 697p.
- GODED y MUR, A. 1966. Técnicas modernas aplicadas al análisis de la leche. Editorial Dossal. Madrid. 445p.
- GONZÁLEZ, M. 1982. Variación estacional de la composición química de la leche. Industrias Lácteas Españolas. 39:72-75.
- HOLT, C y BAIR, L.1978. Natural variations in the average size of bovine casein micelles I. Milks from individual Ayrshire cows. Journal of Dairy Research. 45:339-345.
- HOLT, C y MUIR, D .1978. Natural variations in the average size of bovine casein micelles II. Milks samples from creamery bulk silos in south west Scotland. Journal of Dairy Research. 45:347-353.
- INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION.1995. Toma de muestras de leche para análisis químico-físico (FIL -IDF 50c:1995). Bruselas-Bélgica.
- JENNESS, R.; SHIPE, W y SHERBON, J. 1974. Physical properties of milk. En Webb, B; Johnson., A y Alford, J. Fundamentals of Dairy Chemistry. The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Conneticut. 929p.
- JENNESS, R y PATTON, S. 1976. Principles of dairy Chemistry. Editorial New York. 446p.
- JOHNSON, A. 1974. The composition of milk. En Webb, B.; Johnson, A y Alford, J. Fundamentals of Dairy Chemistry. The Avi Publishing Company, Inc. Westport, Conneticut. 929p.

- KELSEY, W.R. 1901. Physical determination. Editorial Edward Arnold. London. England.
- KIKOIN, I y KIKOIN, A. 1971. Física molecular. Editorial MIR, Moscú. 540p.
- LIPKA, J. 1961. Computaciones gráficas y mecánicas. Editorial Continental, México. 310p.
- LONGO, F. 1975. Química general. Editorial Mc Graw-Hill, Colombia. 498p.
- MAIER, H y LEBER, G. 1968. Métodos modernos de análisis de alimentos: (Técnicas Ópticas). Editorial Acribia, Zaragoza, España. 102p.
- MARON, S y PRUTTON, C. 1968. Fundamentos de Físico-Química. Editorial Limusa Wiley. México. 900p.
- MARTÍNEZ, G. 1974. Composición química de la leche y sus variaciones en la provincia de Llanquihue. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 49p.
- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO). 1981. Manual de composición y Propiedades e la leche. Equipo Regional de Desarrollo y Capacitación en Lechería de FAO para América Latina. Santiago, Chile. s.p.
- PATIL, N y VYAS, S. 1977. Study on size of fat globules of Jersey cow milk. En Gujarat-Agricultural-University-Research-Journal. 2(2):112-116. FSTA 1969-1989. AN: 79-04-P0690.

- PINTO, M y HOUBRAKEN, A. 1976. Métodos de análisis químico de la leche y productos lácteos. Centro Regional de Capacitación en Lechería. FAO, Santiago, Chile. 345p.
- PINTO, M.; KELLER, P.; RIPPES, M y RAMÍREZ, J. 1980. Propiedades físico-químicas de la leche cruda. Región Metropolitana. Agrosur 8(2):77-86.
- PINTO, M.; VEGA, S y PÉREZ, N. 1996. Métodos de análisis de la leche y derivados. Imprenta Universitaria S.A. Valdivia, Chile. 531p.
- PINTO, M.; CARRASCO, E.; FRASER, B.; LETELIER, A y DÖRNER, W. 1998. Composición química de la leche cruda y sus variaciones a nivel de silos en plantas lecheras de la VIII, XI y X regiones de Chile. Parte I. Macrocomponentes. Agrosur. 26(2): 97-109.
- PORTER, J. 1981. Leche y productos lácteos. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 88p.
- REAVES, P y PEGRAM, C. 1965. El ganado lechero y las industrias lácteas en la granja. Editorial Limusa-Wiley. S.A, México, 594p.
- RESNICK, R y HALLIDAY, D.1971. Física, Parte 1. Editorial Continental, México. 922p.
- RENNER, E y SHAHIN, Y. 1978. Effect of lactation stage on the content of free fatty acids in milk. En International dairy Congress, 20, Paris. Published by Congrilait, Paris. 1122p.

- REUTER, H y RANDHAHN, H. 1978. Relation between fat globule size distribution and viscosity of raw milk. En International dairy Congress, 20, Paris. Published by Congrilait, Paris. 1122p.
- ROSELL, J y DOS SANTOS, I. 1952. Métodos analíticos de laboratorio lactológico y microbiología de las industrias lácteas. Editorial Labor, Barcelona. 913p.
- RUTZ, W y WHITNAH, C. 1957. The viscosity of milk as affected by butterfat and protein content. Journal of Dairy Science. 40:599.
- SINGH, H.; Mc CARTHY, O.J y LUCEY, J.A. 1997. Physico-chemical properties of milk. En Fox, P.F. Advanced dairy chemistry, volumen 3: Lactose, water, salts y vitamins. 2ª edición. Publishing for Chapman y hall, London. 536p.
- SPREER, E. 1975. Lactología industrial. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 461p.
- STREETER, V. 1971. Mecánica de fluidos. Editorial Mc Graw-Hill, México. 747p.
- STUARDO, J. 1972. Composición de la leche y sus variaciones en la provincia de Osorno. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 77p.
- VARESMMA, M. 1970. Amount of free fatty acids in milk. Karjantuote. 53(12):450-451. FSTA 1969-1989. AN: 71-09-p1503.

VEISSEYRE, R. 1980. Lactología Técnica. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 629p.

WALSTRA, P y JENNESS, P. 1987. Química y Física lactológica. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 423p.

WESTPHAL, W. 1951. Tratado de Física. Editorial Labor, Barcelona. 915p.

WHITNAH, C. 1959. The surface tension of milk. Journal of Dairy Science. 42 (8): 1437-1449.

ANEXOS

ANEXO 1

**Resultados propiedades físicas en leche cruda
de las regiones VIII, IX y X**

VIII Región

Meses	Densidad (Kg/m ³)	Ten.Sup (mN/m)	Viscosidad (mPa*s)	Índice Refracción	Dilat. 20°C/40°C
Enero	1030,2	33,21	1,8407	1,3468	0,00456
Enero	1030,2	34,35	1,8059	1,3471	0,00393
Enero	1031,9	32,18	1,6977	1,3473	0,00475
Enero	1029,0	37,61	1,7067	1,3472	0,00371
Enero	1029,1	39,06	1,7069	1,3473	0,00475
Enero	1027,9	37,72	1,7210	1,3478	0,00413
Febrero	1030,2	32,87	1,7249	1,3471	0,00434
Febrero	1027,3	32,84	1,7120	1,3469	0,00496
Febrero	1028,8	35,43	1,7145	1,3471	0,00393
Febrero	1027,2	37,07	1,7118	1,3470	0,00372
Marzo	1029,8	34,26	1,5947	1,3466	0,00496
Marzo	1028,9	36,18	1,7713	1,3471	0,00475
Marzo	1031,3	35,78	1,6619	1,3476	0,00455
Marzo	1025,8	40,66	1,8627	1,3468	0,00351
Marzo	1025,4	37,45	1,8942	1,3467	0,00558
Marzo	1026,4	37,45	1,9283	1,3470	0,00558
Abril	1029,3	39,55	1,7800	1,3474	0,00351
Abril	1031,4	39,44	1,9377	1,3478	0,00517
Abril	1029,8	37,38	1,8780	1,3479	0,00372
Abril	1026,2	34,24	1,8473	1,3481	0,00496
Abril	1026,8	36,73	1,8621	1,3476	0,00455
Abril	1026,6	41,43	1,8343	1,3473	0,00421
Abril	1027,8	40,59	1,8477	1,3478	0,00488
Abril	1025,0	38,14	1,7871	1,3476	0,00393
Mayo	1029,3	34,43	1,7930	1,3471	0,00558
Mayo	1025,2	34,55	1,8882	1,3473	0,00372
Mayo	1030,9	44,14	1,8663	1,3479	0,00533
Mayo	1030,4	41,62	1,9407	1,3479	0,00429
Mayo	1030,6	41,47	1,8991	1,3479	0,00446
Mayo	1026,9	39,78	1,8647	1,3478	0,00475
Mayo	1026,1	44,40	1,8310	1,3472	0,00558
Junio	1030,4	37,34	1,8550	1,3479	0,00548
Junio	1029,2	35,92	1,7386	1,3472	0,00555
Junio	1029,5	32,12	1,8920	1,3480	0,00579
Junio	1029,7	36,16	1,9770	1,3485	0,00567
Junio	1028,3	31,98	1,6910	1,3475	0,00568
Julio	1028,5	35,83	1,6700	1,3470	0,00486
Julio	1030,2	35,68	1,8050	1,3480	0,00465
Julio	1031,1	38,18	1,8740	1,3475	0,00589
Julio	1031,9	38,37	1,8884	1,3472	0,00393
Julio	1030,1	40,03	1,7833	1,3475	0,00351
Julio	1030,5	40,51	1,7532	1,3478	0,00434
Agosto	1030,8	38,17	1,7733	1,3470	0,00569
Agosto	1029,5	40,05	1,7215	1,3470	0,00476
Agosto	1030,4	44,54	1,7733	1,3472	0,00475
Agosto	1030,3	40,36	1,7560	1,3478	0,00475
Agosto	1029,9	42,25	1,7272	1,3480	0,00465
Septiembre	1029,6	43,32	1,7618	1,3472	0,00400
Septiembre	1030,3	42,91	1,7272	1,3477	0,00475
Septiembre	1030,4	43,57	1,7906	1,3475	0,00400
Septiembre	1030,1	43,85	1,7675	1,3472	0,00500
Septiembre	1029,6	43,84	1,7445	1,3472	0,00390
Septiembre	1030,1	44,73	1,8309	1,3476	0,00430

(continuación Anexo 1)

Meses	Densidad (Kg/m ³)	Ten.Sup (mN/m)	Viscosidad (mPa*s)	Índice Refracción	Dilat. 20°C/40°C
Octubre	1030,6	40,22	1,7109	1,3476	0,00517
Octubre	1031,3	44,11	1,7215	1,3472	0,00475
Octubre	1029,7	42,67	1,7388	1,3478	0,00496
Octubre	1026,3	42,29	1,7445	1,3472	0,00403
Octubre	1030,5	43,40	1,7503	1,3470	0,00424
Octubre	1029,9	41,87	1,7819	1,3476	0,00413
Noviembre	1030,4	38,64	1,7983	1,3472	0,00393
Noviembre	1029,7	39,63	1,8312	1,3472	0,00434
Noviembre	1029,9	38,05	1,7737	1,3474	0,00413
Noviembre	1030,1	38,97	1,7737	1,3476	0,00496
Noviembre	1029,5	40,35	1,6998	1,3480	0,00496
Noviembre	1030,3	40,07	1,7983	1,3480	0,00413
Diciembre	1029,1	35,85	1,7093	1,3469	0,00471
Diciembre	1032,1	34,58	1,5900	1,3479	0,00434
Diciembre	1032,7	40,39	1,7267	1,3480	0,00371
Diciembre	1026,5	38,60	1,6372	1,3472	0,00434
Diciembre	1031,3	39,44	1,7332	1,3462	0,00496
Diciembre	1030,8	37,68	1,7462	1,3471	0,00372

(continuación Anexo 1)

IX Región

Meses	Densidad (Kg/m ³)	Ten.Sup (mN/m)	Viscosidad (mPa*s)	Índice Refracción	Dilat. 20°C/40°C
Enero	1031,3	34,63	1,6943	1,3471	0,00331
Enero	1031,0	34,58	1,7724	1,3464	0,00434
Enero	1031,4	40,15	1,7431	1,3474	0,00433
Enero	1031,1	34,43	1,724	1,3471	0,00343
Enero	1025,8	38,48	1,7417	1,3478	0,00372
Enero	1026,6	37,53	1,7326	1,3473	0,00413
Enero	1028,0	37,11	1,7051	1,3475	0,00351
Enero	1032,3	37,01	1,6854	1,3481	0,00413
Enero	1028,6	37,36	1,7222	1,3473	0,00413
Febrero	1028,8	36,67	1,7145	1,3471	0,00413
Febrero	1025,8	35,62	1,9005	1,3472	0,00475
Febrero	1028,9	36,48	1,7308	1,3471	0,00434
Febrero	1026,6	40,78	1,8802	1,3464	0,00372
Febrero	1026,9	40,76	1,7355	1,3470	0,00393
Febrero	1026,6	38,13	1,7431	1,3478	0,00456
Febrero	1026,9	36,04	1,7113	1,3473	0,00537
Febrero	1029,6	35,36	1,7368	1,3473	0,00413
Febrero	1025,8	40,75	1,7095	1,3476	0,00517
Marzo	1026,9	39,70	1,8162	1,3469	0,00496
Marzo	1027,1	37,29	1,8247	1,3462	0,00619
Marzo	1024,9	36,94	1,9013	1,3472	0,00517
Marzo	1029,6	38,79	1,9748	1,3478	0,00413
Marzo	1028,8	35,25	1,7549	1,3472	0,00599
Marzo	1030,4	41,05	1,9520	1,3474	0,00599
Marzo	1029,8	38,96	1,8457	1,3472	0,00579
Marzo	1029,6	36,17	1,7239	1,3469	0,00456
Marzo	1030,6	38,83	1,9281	1,3472	0,00517
Marzo	1027,9	35,33	1,8907	1,3471	0,00579
Abril	1025,0	39,09	1,8475	1,3473	0,00426
Abril	1028,0	33,23	1,7859	1,3471	0,00488
Abril	1028,9	40,56	1,9168	1,3478	0,00413
Abril	1026,2	40,18	1,8739	1,3481	0,00504
Abril	1029,4	34,72	1,8773	1,3472	0,00517
Abril	1025,6	41,91	1,8284	1,3471	0,00331
Mayo	1030,2	44,83	1,8893	1,3471	0,00492
Mayo	1026,4	41,98	1,8718	1,3471	0,00384
Mayo	1027,1	40,10	1,8755	1,3470	0,00421
Mayo	1028,5	39,06	1,8433	1,3473	0,00446
Mayo	1026,6	43,55	1,8800	1,3474	0,00558
Mayo	1025,1	40,76	1,8670	1,3470	0,00517
Mayo	1024,6	43,39	1,8790	1,3475	0,00723
Junio	1026,1	35,83	1,9200	1,3465	0,00455
Junio	1029,5	39,286	1,7280	1,3462	0,00559
Junio	1028,5	36,57	1,7440	1,3463	0,00517
Junio	1029,2	37,276	1,6440	1,3472	0,00620
Junio	1034,2	36,59	1,8250	1,3483	0,00620
Junio	1034,0	33,40	1,7550	1,3485	0,00522
Junio	1030,3	36,31	1,9029	1,3477	0,00485
Junio	1032,5	35,01	1,7439	1,3480	0,00465
Julio	1029,4	40,33	1,7500	1,3470	0,00455
Julio	1029,5	41,96	1,7848	1,3475	0,00424
Julio	1029,3	44,38	1,7890	1,3472	0,00480
Julio	1030,6	40,79	1,7733	1,3476	0,00445
Julio	1029,6	41,62	1,7600	1,3480	0,00479
Julio	1030,5	41,59	1,7215	1,3475	0,00486
Julio	1030,1	38,47	1,6700	1,3470	0,00476
Julio	1030,0	39,46	1,8194	1,3471	0,00455
Agosto	1030,1	39,33	1,7560	1,3475	0,00444
Agosto	1029,3	43,34	1,7272	1,3474	0,00425

(continuación Anexo 1)

Meses	Densidad (Kg/m ³)	Ten.Sup (mN/m)	Viscosidad (mPa*s)	Índice Refracción	Dilat. 20°C/40°C
Agosto	1031,9	41,03	1,8078	1,3480	0,00403
Agosto	1031,9	38,98	1,7445	1,3470	0,00469
Agosto	1031,0	43,57	1,7733	1,3475	0,00495
Agosto	1031,0	40,64	1,7445	1,3476	0,00490
Agosto	1031,5	41,19	1,7272	1,3472	0,00444
Septiembre	1030,3	43,57	1,7388	1,3472	0,00445
Septiembre	1030,6	43,93	1,7100	1,3470	0,00420
Septiembre	1030,0	45,07	1,7100	1,3475	0,00435
Septiembre	1029,6	44,16	1,7330	1,3472	0,00430
Septiembre	1030,0	43,23	1,7388	1,3473	0,00510
Septiembre	1030,0	43,13	1,6812	1,3476	0,00380
Septiembre	1029,8	44,73	1,7100	1,3475	0,00415
Septiembre	1029,3	43,47	1,7100	1,3470	0,00445
Septiembre	1029,7	44,73	1,7272	1,3472	0,00410
Septiembre	1030,8	43,14	1,7330	1,3475	0,00420
Octubre	1029,4	44,79	1,6927	1,3470	0,00579
Octubre	1030,9	44,81	1,8539	1,3470	0,00413
Octubre	1029,9	41,65	1,8078	1,3474	0,00296
Octubre	1030,1	42,73	1,8079	1,3475	0,00475
Octubre	1029,7	40,47	1,8850	1,3478	0,00579
Octubre	1030,7	42,39	1,7848	1,3470	0,00372
Octubre	1029,2	38,80	1,8539	1,3472	0,00496
Octubre	1030,4	40,55	1,8194	1,3474	0,00460
Noviembre	1030,0	38,19	1,7819	1,3472	0,00475
Noviembre	1030,4	39,21	1,7737	1,3470	0,00579
Noviembre	1029,3	37,09	1,7983	1,3476	0,00496
Noviembre	1030,0	38,99	1,8065	1,3474	0,00455
Noviembre	1030,4	38,65	1,7244	1,3470	0,00558
Noviembre	1030,9	40,17	1,8763	1,3474	0,00579
Noviembre	1029,9	38,22	1,7819	1,3472	0,00351
Noviembre	1030,4	41,17	1,8229	1,3478	0,00640
Noviembre	1030,8	39,13	1,6751	1,3480	0,00413
Diciembre	1032,5	41,06	1,9154	1,3470	0,00393
Diciembre	1031,3	36,33	1,8484	1,3472	0,00351
Diciembre	1032,5	35,18	1,7750	1,3462	0,00496
Diciembre	1027,9	43,88	1,7833	1,3473	0,00321
Diciembre	1031,3	41,21	1,9351	1,3479	0,00269

(continuación Anexo 1)

X Región

Meses	Densidad (Kg/m ³)	Ten.Sup (mN/m)	Viscosidad (mPa*s)	Índice Refracción	Dilat. 20°C/40°C
Enero	1033,9	40,45	1,7417	1,3473	0,00661
Enero	1032,0	36,11	1,8253	1,3477	0,00413
Enero	1032,0	39,07	1,7953	1,3478	0,00413
Enero	1030,1	37,68	1,8300	1,3478	0,00514
Enero	1030,8	37,37	1,7664	1,3469	0,00475
Enero	1030,8	37,51	1,7664	1,3469	0,00413
Enero	1026,6	38,20	1,6866	1,3469	0,00413
Enero	1030,2	38,62	1,7816	1,3478	0,00413
Enero	1031,3	41,07	1,7511	1,3473	0,00475
Enero	1030,0	36,95	1,7974	1,3479	0,00393
Enero	1030,1	37,33	1,9029	1,3472	0,00517
Enero	1031,4	39,75	1,8404	1,3476	0,00537
Febrero	1027,7	38,29	1,7944	1,3468	0,00496
Febrero	1031,0	37,71	1,7668	1,3471	0,00579
Febrero	1027,1	34,57	1,8731	1,3476	0,00558
Febrero	1026,8	34,36	1,7031	1,3473	0,00455
Febrero	1030,4	36,32	1,7333	1,3469	0,00393
Febrero	1030,4	36,83	1,7495	1,3479	0,00434
Febrero	1030,0	36,66	1,8622	1,3476	0,00413
Febrero	1030,2	35,34	1,8464	1,3462	0,00537
Febrero	1026,3	34,93	1,8878	1,3471	0,00517
Febrero	1025,1	33,29	1,8453	1,3478	0,00558
Febrero	1027,3	35,16	1,8008	1,3471	0,00372
Marzo	1029,0	34,98	1,8361	1,3472	0,00558
Marzo	1026,1	41,81	1,9116	1,3479	0,00496
Marzo	1024,0	35,12	1,7387	1,3471	0,00496
Marzo	1030,2	38,78	1,9168	1,3474	0,00517
Marzo	1028,6	35,91	1,8435	1,3476	0,00456
Marzo	1029,9	39,23	1,8782	1,3476	0,00537
Marzo	1026,4	37,76	1,8227	1,3476	0,00413
Marzo	1027,1	39,29	1,9444	1,3472	0,00371
Marzo	1026,0	38,58	1,9296	1,3475	0,00537
Marzo	1029,1	42,21	1,9496	1,3475	0,00558
Abril	1026,2	39,01	1,8715	1,3479	0,00393
Abril	1023,6	36,86	1,9341	1,3479	0,00471
Abril	1026,0	41,07	1,8469	1,3478	0,00583
Abril	1024,6	36,85	1,9217	1,3473	0,0062
Abril	1025,1	32,52	1,7752	1,3477	0,00393
Abril	1029,3	33,43	1,7371	1,3472	0,00393
Abril	1024,9	37,25	1,8933	1,3472	0,00393
Abril	1024,9	41,18	1,8417	1,3476	0,00413
Abril	1030,0	38,53	1,7974	1,3478	0,00455
Mayo	1029,8	43,68	1,8319	1,3473	0,00393
Mayo	1028,6	45,19	1,9776	1,3473	0,00647
Mayo	1029,8	44,54	1,8675	1,3479	0,00694
Mayo	1026,6	40,24	1,9448	1,3471	0,00475
Mayo	1028,3	40,93	1,7969	1,3472	0,00556
Mayo	1027,8	44,53	1,9091	1,3478	0,00339
Mayo	1029,4	42,89	1,9121	1,3478	0,00579
Mayo	1029,4	42,30	1,9486	1,3475	0,00578
Mayo	1025,1	42,40	1,9766	1,3471	0,00508
Junio	1028,7	35,30	1,8730	1,3480	0,00455
Junio	1030,8	37,567	1,9030	1,3480	0,00537
Junio	1028,7	39,560	1,8130	1,3472	0,00510
Junio	1030,7	36,974	1,9430	1,3479	0,00506
Junio	1028,5	36,60	1,8500	1,3475	0,00357
Junio	1028,7	39,06	1,7545	1,3465	0,00393
Junio	1026,7	39,937	1,9670	1,3470	0,00569
Junio	1030,6	36,66	1,8660	1,3472	0,00414

(continuación Anexo 1)

Meses	Densidad (Kg/m ³)	Ten.Sup (mN/m)	Viscosidad (mPa*s)	Índice Refracción	Dilat. 20°C/40°C
Junio	1028,3	36,76	1,7860	1,3476	0,00465
Junio	1029,1	36,37	1,9160	1,3470	0,00568
Junio	1028,4	34,33	1,7290	1,3480	0,00460
Julio	1029,0	43,47	1,6670	1,3479	0,00450
Julio	1030,0	43,30	1,7687	1,3475	0,00465
Julio	1030,4	38,66	1,7410	1,3480	0,00527
Julio	1032,3	40,72	1,5902	1,3468	0,00535
Julio	1029,6	41,37	1,7675	1,3480	0,00548
Julio	1028,9	38,84	1,5956	1,3476	0,00445
Julio	1029,5	42,43	1,9460	1,3472	0,00434
Julio	1031,1	38,84	1,6617	1,3482	0,00579
Julio	1029,1	38,68	1,8136	1,3470	0,00444
Julio	1028,1	40,93	1,6617	1,3480	0,00445
Julio	1028,5	41,79	1,6908	1,3470	0,00445
Julio	1031,6	39,96	1,6379	1,3472	0,00475
Julio	1030,2	42,96	1,7589	1,3472	0,00465
Agosto	1030,2	40,49	1,8309	1,3476	0,00538
Agosto	1029,9	42,88	1,6977	1,3480	0,00410
Agosto	1029,7	38,68	1,8366	1,3476	0,00517
Agosto	1031,9	43,11	1,7272	1,3471	0,00560
Agosto	1030,1	44,56	1,7963	1,3478	0,00500
Agosto	1029,2	39,82	1,6754	1,3475	0,00496
Agosto	1029,3	43,78	1,8424	1,3470	0,00500
Agosto	1029,8	42,33	1,7675	1,3475	0,00507
Agosto	1030,2	44,68	1,7963	1,3478	0,00445
Agosto	1029,3	40,87	1,7388	1,3479	0,00630
Agosto	1029,8	44,64	1,8251	1,3472	0,00410
Agosto	1030,2	41,65	1,8021	1,3478	0,00507
Agosto	1030,2	45,36	1,7762	1,3473	0,00450
Agosto	1029,8	42,31	1,9518	1,3475	0,00433
Agosto	1031,6	44,26	1,6985	1,3473	0,00445
Septiembre	1030,4	42,99	1,8017	1,3474	0,00351
Septiembre	1030,5	44,77	1,7272	1,3478	0,00525
Septiembre	1031,1	44,54	1,7906	1,3476	0,00475
Septiembre	1030,0	42,40	1,7215	1,3476	0,00415
Septiembre	1030,9	41,61	1,7789	1,3476	0,00496
Septiembre	1030,7	45,38	1,7042	1,3472	0,00405
Septiembre	1030,5	44,89	1,7848	1,3472	0,00425
Septiembre	1030,0	40,89	1,7675	1,3480	0,00650
Septiembre	1030,1	42,03	1,7733	1,3475	0,00445
Septiembre	1030,0	40,66	1,8017	1,3478	0,00393
Septiembre	1028,5	41,18	1,8309	1,3474	0,00390
Octubre	1029,9	39,58	1,7906	1,3474	0,00475
Octubre	1030,3	39,12	1,7675	1,3472	0,00702
Octubre	1031,1	38,69	1,7737	1,3472	0,00517
Octubre	1030,3	41,47	1,7560	1,3472	0,00413
Octubre	1029,4	41,31	1,7737	1,3476	0,00496
Octubre	1030,6	40,91	1,8222	1,3476	0,00475
Octubre	1029,9	42,25	1,7906	1,3474	0,00331
Octubre	1030,8	39,67	1,8065	1,3472	0,00434
Octubre	1030,1	40,43	1,7906	1,3475	0,00661
Octubre	1030,6	39,71	1,8065	1,3470	0,00393
Octubre	1030,0	41,27	1,7388	1,3475	0,00496
Noviembre	1031,2	41,85	1,7080	1,3472	0,00517
Noviembre	1030,7	40,45	1,8300	1,3476	0,00475
Noviembre	1031,7	39,52	1,7778	1,3472	0,00331
Noviembre	1030,9	38,53	1,7901	1,3474	0,00486
Noviembre	1030,9	39,75	1,8458	1,3478	0,00475
Noviembre	1030,0	40,37	1,6997	1,3476	0,00475
Noviembre	1030,7	40,35	1,8558	1,3474	0,00434

(continuación Anexo 1)

Meses	Densidad (Kg/m ³)	Ten.Sup (mN/m)	Viscosidad (mPa*s)	Índice Refracción	Dilat. 20°C/40°C
Noviembre	1030,4	38,72	1,7490	1,3472	0,00393
Noviembre	1030,2	40,90	1,8616	1,3476	0,00579
Noviembre	1030,1	41,82	1,7039	1,3474	0,00455
Noviembre	1029,7	41,82	1,7590	1,3476	0,00475
Noviembre	1032,2	35,74	1,7408	1,3472	0,00331
Noviembre	1031,2	45,38	1,8143	1,3472	0,00413
Diciembre	1031,3	40,61	1,7940	1,3478	0,00269
Diciembre	1031,3	37,41	1,7997	1,3472	0,00496
Diciembre	1031,1	40,88	1,7062	1,3471	0,00351
Diciembre	1032,9	39,82	1,8512	1,3478	0,00475
Diciembre	1031,9	37,72	1,8113	1,3470	0,00496
Diciembre	1032,5	37,73	1,9154	1,3482	0,00413
Diciembre	1026,7	39,31	1,7110	1,3471	0,00351
Diciembre	1031,9	39,06	1,6361	1,3472	0,00413
Diciembre	1031,3	37,84	1,6457	1,3469	0,00331

ANEXO 2

Factores de corrección de los capilares para la determinación de la tensión superficial.

Capilar	h H ₂ O 20°C (m)	Tensión superficial capilar	f_n
1	0,01915	72,90969	1,0041
2	0,01914	72,87162	0,99988
3	0,01912	72,79547	0,99884
4	0,01911	72,75743	0,99832
5	0,01918	73,02391	1,00197
6	0,01916	72,94776	1,00093
7	0,01916	72,94776	1,00093
8	0,01907	72,60511	0,99623
9	0,01904	72,49089	0,99466
10	0,01913	72,83354	0,99936

Para determinar la tensión superficial de cada capilar, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{r h g \rho}{2} f_n \quad (2.8)$$

donde:

r : radio promedio de los capilares (0,0007784 m)

h : altura ascendida por el agua en el capilar respectivo en m.

g : constante de la ley de Newton (9,8 m/s²)

ρ : densidad del agua a la temperatura de 20°C (998,2 (Kg/m³))

El factor de corrección f_n , se calcula dividiendo el valor de tensión superficial obtenido de cada capilar por el valor correspondiente al valor de tabla para agua, a esa misma temperatura (72,88 mN/m).

ANEXO 3**Análisis estadístico, VIII Región**

Análisis estadístico DENSIDAD

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio
Enero	36,0000
Febrero	22,625
Marzo	22,25
Abril	21,125
Mayo	30,7143
Junio	30,6
Julio	48,0
Agosto	44,9
Septiembre	47,0
Octubre	41,1667
Noviembre	39,5833
Diciembre	49,0

Prueba estadística = 17,0771 P-valor = 0,105614

(continuación Anexo 3)

Análisis estadístico TENSIÓN SUPERFICIAL

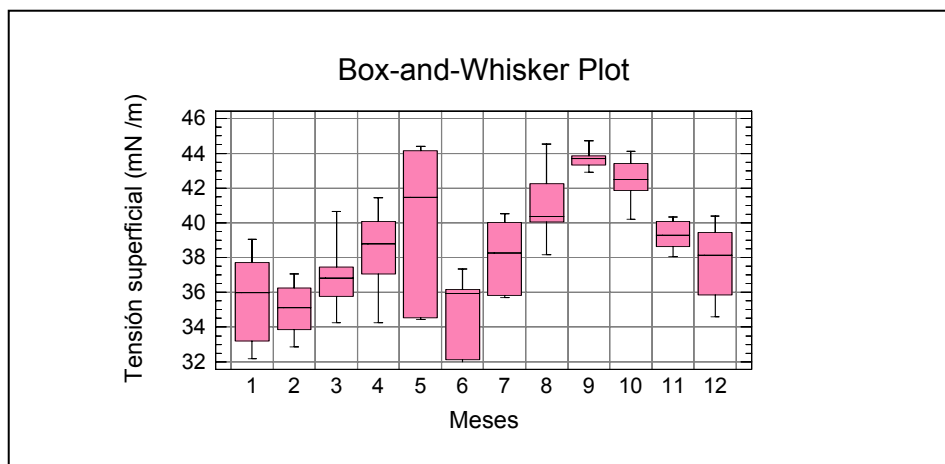
Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio *
Enero	18,3333 a
Febrero	12,75 a
Marzo	24,3333 a
Abril	33,5625 ab
Mayo	44,2857 ab
Junio	12,6 a
Julio	32,0 ab
Agosto	50,8 b
Septiembre	64,8333 b
Octubre	58,8333 b
Noviembre	39,8333 ab
Diciembre	30,0833 ab

* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa

Prueba estadística = 41,6052 P-valor = 0,0000189536

Gráfico Box y Whisker



(continuación Anexo 3)

Análisis de varianza VISCOSIDAD

Fuente	Suma cuadrado	Gl	Cuadrado medio	Razón - F	Valor -P
Entre meses	0,19081	11	0,01734	3,82	0,0004
Dentro meses	0,267921	59	0,00454		
Total (corr.)	0,458731	70			

Prueba de rango múltiple VISCOSIDAD

Método: Tukey HSD, 95,0%

Meses	Promedio *	
Enero	1,7465	abc
Febrero	1,7158	ab
Marzo	1,7855	abc
Abril	1,8468	bc
Mayo	1,8690	c
Junio	1,8307	bc
Julio	1,7957	abc
Agosto	1,7503	abc
Septiembre	1,7704	abc
Octubre	1,7413	ab
Noviembre	1,7792	abc
Diciembre	1,6904	a

* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa

(continuación Anexo 3)

Análisis estadístico ÍNDICE REFRACCIÓN

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio *
Enero	28,3333 ab
Febrero	12,5 a
Marzo	13,75 a
Abril	50,3125 b
Mayo	44,6429 ab
Junio	52,9 b
Julio	39,6667 ab
Agosto	33,5 ab
Septiembre	35,75 ab
Octubre	34,75 ab
Noviembre	44,75 ab
Diciembre	29,5 ab

* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa
 Prueba estadística = 23,6247 P-valor = 0,0144115

Gráfico Box y Whisker



(continuación Anexo 3)

Análisis estadístico COEFICIENTE DILATACIÓN VOLUMÉTRICA, 20°C a 40°C

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio
Enero	26,3333
Febrero	25,625
Marzo	43,3333
Abril	29,9275
Mayo	42,2857
Junio	65,6
Julio	33,25
Agosto	47,5
Septiembre	28,0833
Octubre	36,0833
Noviembre	31,5
Diciembre	26,8333

Prueba estadística = 18,7865 P-valor = 0,0650347

ANEXO 4

Análisis estadístico, IX Región

Análisis estadístico DENSIDAD

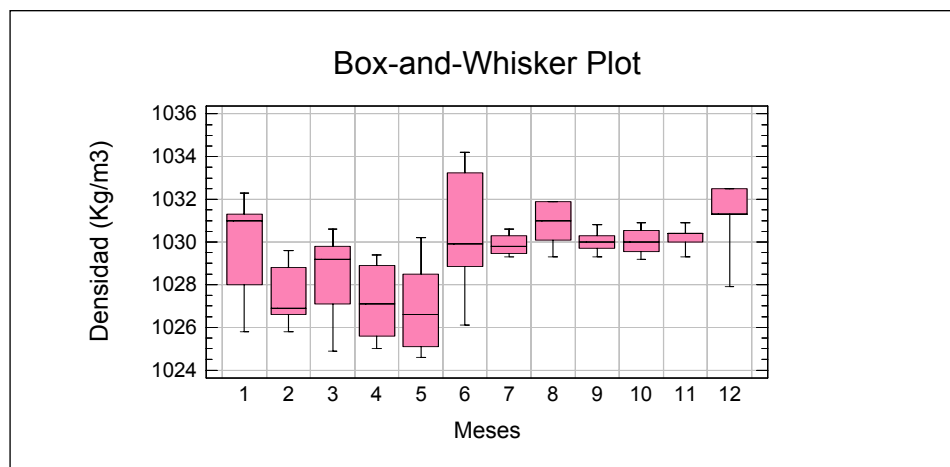
Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio *
Enero	55,3333 ab
Febrero	19,8889 a
Marzo	37,0 ab
Abril	18,5 a
Mayo	19,6429 a
Junio	57,125 ab
Julio	52,8125 ab
Agosto	75,0714 b
Septiembre	56,3 ab
Octubre	56,875 ab
Noviembre	62,2222 ab
Diciembre	75,5 b

* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa

Prueba estadística = 41,9665 P-valor = 0,0000164146

Gráfico Box y Whisker



(continuación Anexo 4)

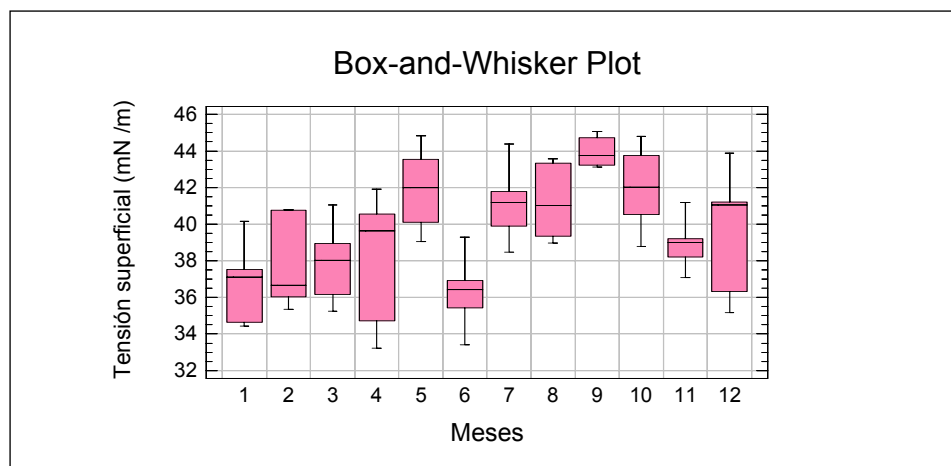
Análisis estadístico TENSIÓN SUPERFICIAL

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio *
Enero	22,4444 a
Febrero	31,9444 a
Marzo	31,0 a
Abril	38,8333 a
Mayo	69,7857 b
Junio	18,625 a
Julio	62,875 ab
Agosto	63,3571 ab
Septiembre	86,15 b
Octubre	70,0 b
Noviembre	41,2222 a
Diciembre	49,4 ab

* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa
 Prueba estadística = 56,7845 P-valor = 3,64555E-8

Gráfico Box y Whisker



(continuación Anexo 4)

Análisis estadístico VISCOSIDAD

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio *
Enero	21,6111 a
Febrero	36,2778 ab
Marzo	71,5 b
Abril	73,6667 b
Mayo	78,0 b
Junio	48,5 ab
Julio	40,1875 ab
Agosto	38,5714 ab
Septiembre	19,0 a
Octubre	59,3125 ab
Noviembre	47,8889 ab
Diciembre	71,4 b

* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa

Prueba estadística = 47,0946 P-valor = 0,0000020689

Gráfico Box y Whisker



(continuación Anexo 4)

Análisis estadístico ÍNDICE REFRACCIÓN

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio
Enero	53,2778
Febrero	43,3333
Marzo	35,95
Abril	55,0
Mayo	39,3571
Junio	52,125
Julio	51,5625
Agosto	61,2857
Septiembre	50,05
Octubre	46,125
Noviembre	54,6667
Diciembre	40,3

Prueba estadística = 6,4293 P-valor = 0,843241

(continuación Anexo 4)

Análisis estadístico COEFICIENTE DILATACIÓN VOLUMÉTRICA, 20°C a 40°C

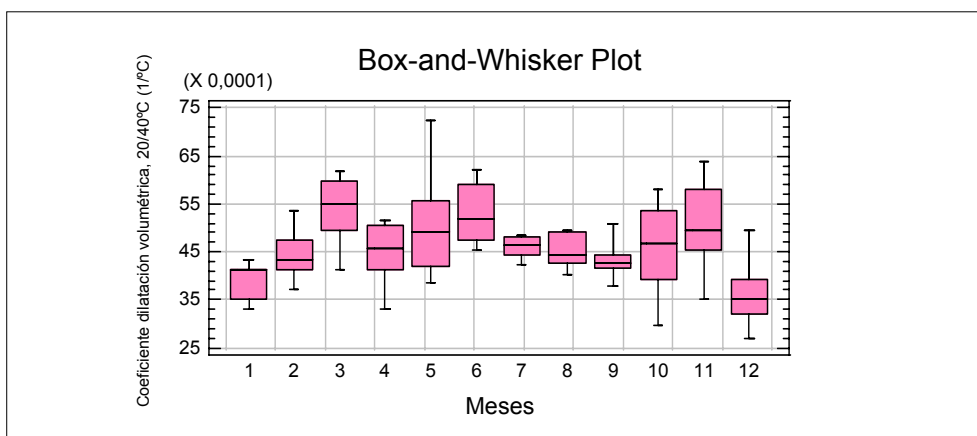
Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio *
Enero	19,1111 a
Febrero	41,3333 ab
Marzo	73,9 b
Abril	45,1667 ab
Mayo	58,4286 ab
Junio	73,3125 b
Julio	50,75 ab
Agosto	45,0 ab
Septiembre	35,1 ab
Octubre	48,1875 ab
Noviembre	61,4444 ab
Diciembre	19,2 a

* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa

Prueba estadística = 36,2592 P-valor = 0,000153231

Gráfico Box y Whisker



ANEXO 5

Análisis estadístico, X Región

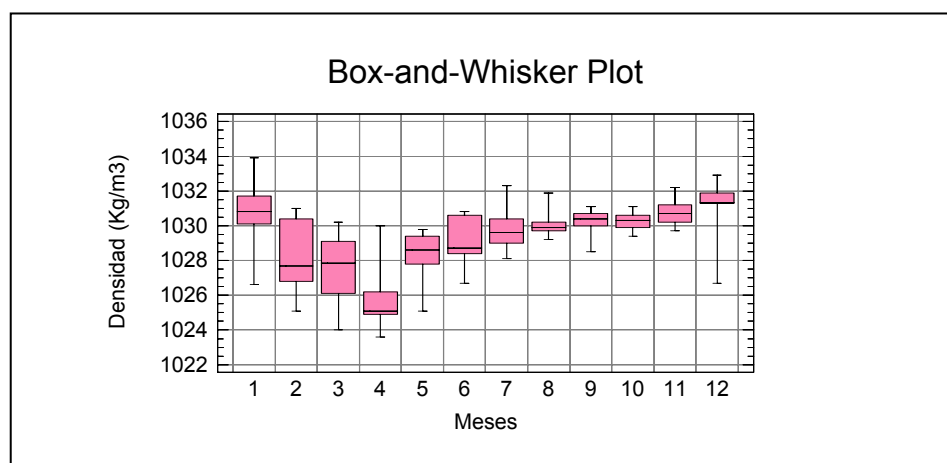
Análisis estadístico DENSIDAD

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio *
Enero	96,0833 b
Febrero	49,5909 a
Marzo	31,15 a
Abril	17,0556 a
Mayo	34,8333 a
Junio	50,0 a
Julio	67,5769 ab
Agosto	71,00 ab
Septiembre	82,4091 b
Octubre	81,5 b
Noviembre	97,6154 b
Diciembre	111,389 b

* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa
 Prueba estadística = 63,9674 P-valor = 1,68436E-9

Gráfico Box y Whisker



(continuación Anexo 5)

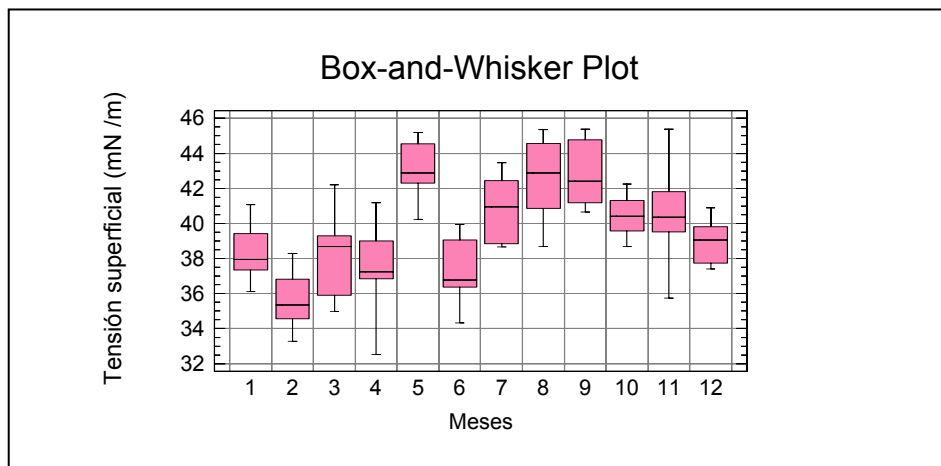
Análisis estadístico TENSIÓN SUPERFICIAL

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio *
Enero	44,375 a
Febrero	15,7727 a
Marzo	48,3 a
Abril	39,2778 a
Mayo	109,944 b
Junio	30,4545 a
Julio	84,0 b
Agosto	105,067 b
Septiembre	109,091 b
Octubre	77,0 b
Noviembre	75,3077 b
Diciembre	53,7778 ab

* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa
 Prueba estadística = 83,0747 P-valor = 0,0

Gráfico Box y Whisker



(continuación Anexo 5)

Análisis estadístico VISCOSIDAD

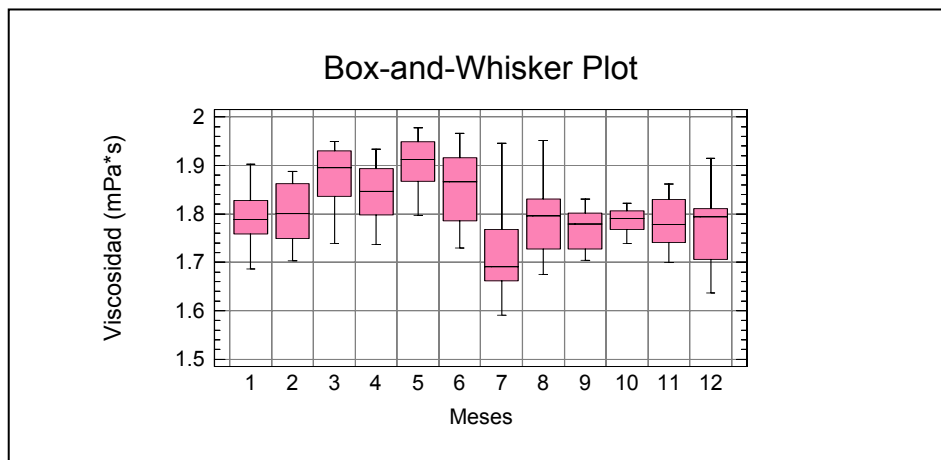
Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio *
Enero	60,5 ab
Febrero	70,4545 ab
Marzo	102,5 b
Abril	89,7222 b
Mayo	113,556 ab
Junio	91,2727 b
Julio	31,3462 a
Agosto	58,6667 ab
Septiembre	50,8182 ab
Octubre	56,8636 ab
Noviembre	56,5 ab
Diciembre	53,2222 ab

* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa

Prueba estadística = 45,4835 P-valor = 0,00000398853

Gráfico Box y Whisker



(continuación Anexo 5)

Análisis estadístico ÍNDICE REFRACCIÓN

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio
Enero	66,375
Febrero	48,3182
Marzo	68,6
Abril	85,7222
Mayo	66,2222
Junio	69,9091
Julio	72,4615
Agosto	76,2
Septiembre	79,9091
Octubre	55,3636
Noviembre	64,2308
Diciembre	54,0556

Prueba estadística = 9,19635 P-valor = 0,603774

(continuación Anexo 5)

Análisis estadístico COEFICIENTE DILATACIÓN VOLUMÉTRICA, 20°C a 40°C

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio
Enero	63,875
Febrero	74,0455
Marzo	82,0
Abril	54,1111
Mayo	90,1111
Junio	71,5
Julio	72,9615
Agosto	77,2667
Septiembre	53,5455
Octubre	70,8636
Noviembre	58,1154
Diciembre	36,4444

Prueba estadística = 15,3191 P-valor = 0,16835

ANEXO 6

Análisis estadístico: VIII, IX y X regiones

Análisis estadístico DENSIDAD

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio
VIII	146,803
IX	146,104
X	156,731

Prueba estadística = 1,05071 P-valor = 0,591347

Análisis estadístico TENSIÓN SUPERFICIAL

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio
VIII	131,275
IX	154,141
X	159,201

Prueba estadística = 4,96175 P-valor = 0,0836698

Análisis estadístico VISCOSIDAD

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio
VIII	138,239
IX	145,458
X	161,731

Prueba estadística = 3,95271 P-valor = 0,138574

(continuación Anexo 6)

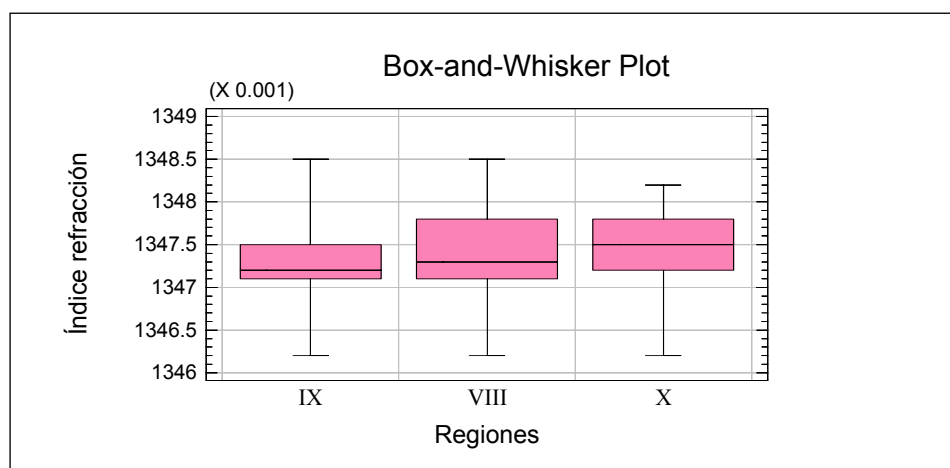
Análisis estadístico ÍNDICE REFRACCIÓN

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio *
VIII	155,197 ab
IX	130,536 a
X	163,437 b

* Letras distintas indican diferencia estadísticamente significativa
 Prueba estadística = 8,2962 P-valor = 0,0157941

Gráfico Box y Whisker



Análisis estadístico COEFICIENTE DILATACIÓN VOLUMÉTRICA, 20°C a 40°C

Prueba de KRUSKAL-WALLIS

Meses	Rango promedio
VIII	142,641
IX	148,313
X	157,354

Prueba estadística = 1,46352 P-valor = 0,481061